

Universitat de Lleida

Escola Politècnica Superior

Enginyeria Tècnica en Informàtica de Sistemes

Treball final de carrera

**Implementación y evaluación de estrategias para optimizar la adquisición  
y procesamiento de tensiones Hall usando una tarjeta A /D en entorno Matlab**

Autora: Ghizlane Benmessaoud

Directores: Miquel Carrera i Francesc Claria

Juny 2008

# Índice General

página

1	Introducción.....	3
1.1	Origen y motivación del proyecto.....	3
1.2	Objetivos del proyecto.....	4
2	Descripción del sistema de medida .....	5
2.1	Aparatos y componentes del sistema .....	5
2.2	Esquema general del sistema.....	7
2.3	Programa de control de la parte mecánica.....	8
3	Desarrollo y verificación de la coherencia del procesado de lecturas de tensión Hall..	9
3.1	Secuencia para la realización de un mapa de campo magnético.....	10
3.2	Verificación de la sincronización entre el recorrido de la sonda Hall y las lecturas de la tensión Hall.....	12
3.3	Confirmación sistemática de la coherencia de datos medidos.....	21
3.4	Almacenamiento de los datos recogidos.....	23
4	Módulo de representación gráfica de los resultados .....	26
4.1	Lenguaje de programación utilizado.....	26
4.2	Funciones del módulo de representación gráfica.....	27
5	Implementación de la interfaz de usuario.....	34
5.1	Los parámetros del sistema de medida.....	34
5.2	Interacción usuario programa .....	36
6	Incorporación de un preamplificador de señal .....	44
6.1	Utilidad de la amplificación de señal.....	44
6.2	Filtro del amplificador.....	46
6.3	Efectos secundarios del amplificador.....	48
7	Implementación de un módulo de filtraje digital.....	50
8	Conclusiones y trabajos futuros.....	58
9	Anexos.....	60
10	Bibliografía.....	61

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1 Origen y motivación del proyecto

El laboratorio de física de la Escola Politècnica Superior de la Universitat de Lleida dispone desde hace varios años de un equipo de micromagnetometría con sondas Hall, cuyo programa de control fue realizado inicialmente por Montse Morancho [1], y optimizado después por Roberto Beán [2]. Debido a que éste tenía ciertas carencias, el Departament de Medi Ambient i Ciències del Sól ha ido adquiriendo nuevos componentes con la intención de construir un sistema totalmente nuevo, que pudiese mejorar las prestaciones del sistema anterior.

La alumna Gemma Fort Cabrero [3] llevó a cabo una primera parte del proyecto elaborando un programa de control de la parte mecánica de este nuevo sistema, implementándolo dentro del entorno Matlab, en su versión 7.0. Este programa gestiona el movimiento de las dos guías ortogonales que soportan la sonda Hall y recoge una señal de sincronización entre el movimiento de las guías y la lectura de tensiones Hall.

La motivación del proyecto que aquí presentamos es la puesta a punto del sistema y llevar a cabo la implementación y la evaluación de las estrategias para optimizar la recogida y el procesamiento de tensiones Hall usando la tarjeta A/D en el entorno Matlab.

## **1.2 Objetivos del proyecto**

Los objetivos que se pretenden conseguir con este proyecto son los siguientes:

- Desarrollar y verificar la secuencia de sincronización entre el recorrido de la sonda Hall y la recogida de datos para garantizar la coherencia del sistema de lectura. O sea, la correcta correlación entre cada lectura de tensión Hall y las coordenadas que le corresponden.
- Implementar una interfaz gráfica que facilite al usuario la modificación de los parámetros del sistema de medida para adecuarlos a las necesidades de cada experimento.
- Implementar un módulo de representación gráfica de los resultados, dentro del mismo programa de control, que permite al usuario comprobar la medida que se acaba de ejecutar sin la necesidad de salir del programa.
- Incorporar al sistema de medida una etapa de amplificación de señal, usando el preamplificador 5113 Low-Noise de EG&G para poder optimizar el rendimiento de la tarjeta A/D.
- Implementar un módulo de filtraje digital para procesar y analizar los datos recogidos, usando las funciones del módulo de Matlab

# Capítulo 2

## Descripción del sistema de medida

Es conveniente tener una visión global del sistema de medida Hall [3] para posteriormente entender en qué afecta cada parámetro en el control del sistema de medida.

### 2.1 Aparatos y componentes del sistema

El sistema está compuesto por dos guías perpendiculares, Xli25 del fabricante Parker, encargadas de realizar el movimiento de la sonda Hall. Cada una de ellas tiene un recorrido máximo de 100 mm.

Estas guías reciben el movimiento de unos motores paso a paso, que son el modelo 56.2.18 JL 3 de la marca Störge, comercializados por Parker, y tienen una resolución máxima de 4000 pasos por vuelta. Cada motor va acoplado al caracol de transmisión del movimiento de cada una de las guías lineales, con una relación de desplazamiento lineal de 1 mm por vuelta.

Los motores están dirigidos por unos drives XLi25 de Parker que son los que realmente se comunican con el PC, vía RS-232, y que almacenan y envían las órdenes de movimiento que el usuario quiere transmitir al motor. Los drives se comunican con los dos motores mediante un socket de conexión de 15 pins específico para este fin.

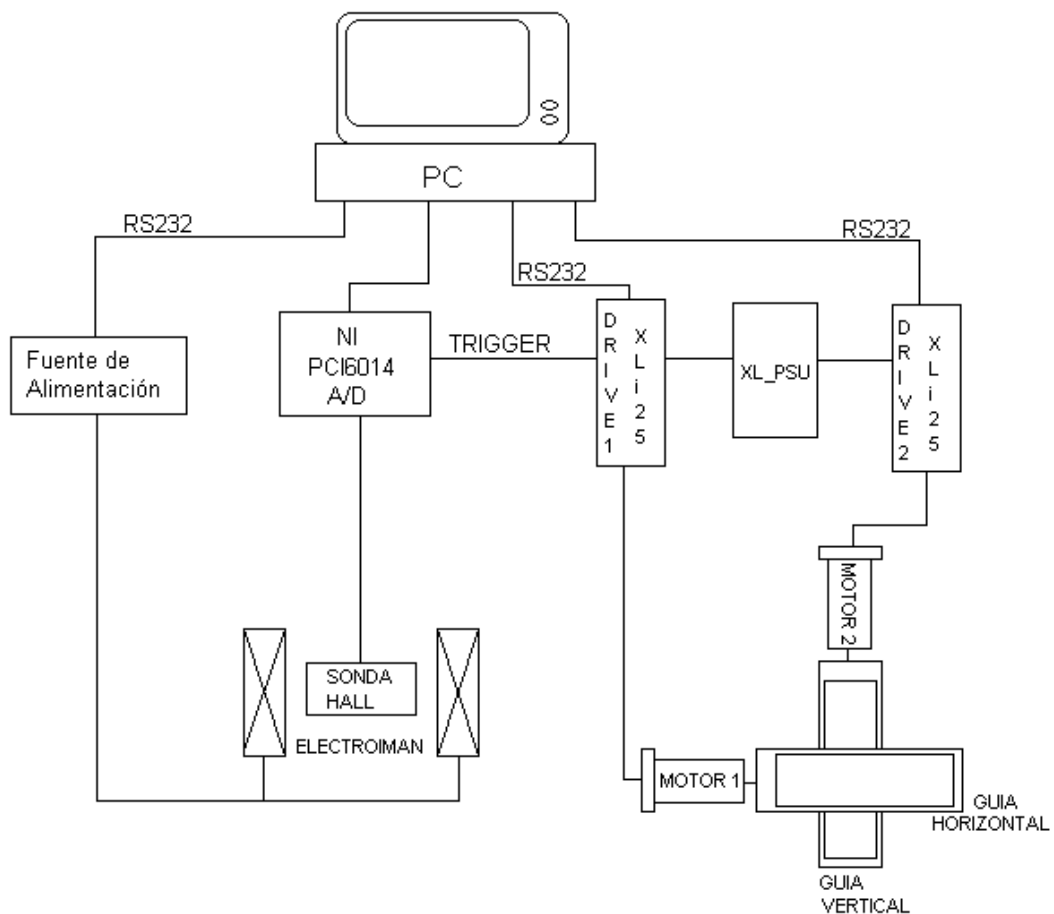
Estos drives están alimentados directamente por una fuente de alimentación XL\_PSU de Parker, de potencia de 250 W. Dicha fuente puede dar corriente hasta a 6 drives a la vez. Una tarjeta A/D PCI-6014 de National Instruments, que nos permite convertir la señal analógica que nos proporcionará la sonda Hall en muestras digitales de 16 bits a una frecuencia máxima de 200 KHz, y que trabaja entre los rangos [-0.5 V,0.5 V] [-5 V,5 V] y [-10 V , 10 V].

Una placa conversora 5 V-24 V conectada entre cada motor y el drive que le dirige para asegurar el correcto funcionamiento del sistema. Ya que los sensores ópticos de las guías dan una señal de 5 V pero los drives trabajan con una tensión de 24 V.

Para el funcionamiento de la sonda Hall se precisa una fuente de corriente que nos asegure que hacemos circular una intensidad lo suficientemente constante a través de la sonda, típicamente entre 2 – 10 mA para la sonda Toshiba THS118 que se ha utilizado.

## 2.2 Esquema general del sistema

Para entender mejor (y ver de forma más clara) las dependencias y las conexiones de los distintos componentes del sistema, en la figura 1 se muestra un esquema general del sistema:



*Figura 1:* Esquema general del sistema.

## 2.3 Programa de control de la parte mecánica

El programa inicial que se ha desarrollado en la primera parte de este proyecto está compuesto por los siguientes bloques:

- a) Abrir los puertos de comunicación: el puerto COM1, que se comunica con el drive de la guía horizontal, y COM2, que mantiene la comunicación con la guía vertical.
- b) Inicialización de los Drives.
- c) Configuración de los límites de desplazamiento.
- d) Enviar las rutinas del movimiento a los Drives que controlan los motores.
- e) Iniciar el movimiento.
- f) Configuración y puesta en marcha de la tarjeta de adquisición de datos.

Los bloques a) – e) constituyen propiamente la parte de control del desplazamiento, que se ha incorporado sin modificaciones en el nuevo programa. El bloque f) referido al control de la tarjeta A/D se había incluido como versión provisional en el programa inicial, pero se ha desestimado para realizar el nuevo programa y ha sido reelaborado íntegramente.

Hemos incluido el código del programa inicial como Anexo I en el CD que se adjunta a la memoria para que se puedan entender mejor algunos aspectos que no vamos a explicitar en este trabajo.



## Capítulo 3

### Desarrollo y verificación de la coherencia del procesamiento de lecturas de tensión Hall

Como se ha señalado anteriormente el trabajo realizado en [3] ha sido solamente el primer paso del proceso de sustitución del equipo antiguo por el recientemente adquirido. Se ha instalado la tarjeta A/D y se han habilitado dos canales analógicos de entrada: el canal 0 corresponde a la sonda Hall, y el canal 1 corresponde a la señal de sincronización entre los datos recogidos y el recorrido de la sonda Hall. Pero no se llegaron a realizar pruebas reales de lectura.

Por lo tanto, nosotros en este apartado vamos a realizar un estudio exhaustivo del sistema de medida para garantizar por un lado la sincronía entre los datos recogidos y el recorrido de la sonda Hall, y por otro lado la coherencia de resultados y su correcto almacenamiento en los ficheros de salida.

### 3.1 Secuencia para la realización de un mapa de campo magnético

Con el movimiento de las dos guías ortogonales podemos realizar un barrido de toda la superficie de la muestra por líneas. Este mapa será de dimensiones X y Y que especifica el usuario junto con el parámetro  $\Delta Y$  que es el salto entre una línea del mapa y otra. Como muestra la figura 2(a), el movimiento correspondiente al mapa de lecturas que deseamos realizar se realiza partiéndose del punto inicial  $(X_0, Y_0)$  para llegar al punto final  $(X_F, Y_F)$  con los siguientes pasos:

- Se realiza el recorrido de una línea de lectura sobre el eje X del mapa.
- La guía vertical Y realiza el movimiento de cambio de línea, desplazamiento  $\Delta Y$ .
- La guía horizontal realiza su movimiento de retorno de línea, antes de volver a ponerse en marcha en el sentido de la lectura.

Este proceso se repite tantas veces como líneas de lectura vaya a tener el mapa de campo  $B(x,y)$  que viene indicado por la operación  $Y/\Delta Y$ .

A la guía horizontal X se le asignó una entrada, I/O4, que se utiliza como Trigger de la tarjeta A/D para indicar el momento en el que se debe comenzar la recogida de datos, poniéndose a nivel alto sólo en el momento en el que la guía se mueve en el sentido correspondiente a la lectura de tensiones Hall. Es decir, la lectura de tensiones Hall se dispara sólo cuando la señal del trigger se pone a nivel alto, como se indica en la figura 2(b). Para que el Trigger se ejecute, se debe cumplir la condición de trigger, que se pone a Rising:

```
set(ai, 'TriggerCondition', 'Rising')  
  
set(ai, 'TriggerConditionValue', 0.1)
```

Es decir, el trigger se activará cuando el canal de éste detecte un flanco de subida de la señal. [3]

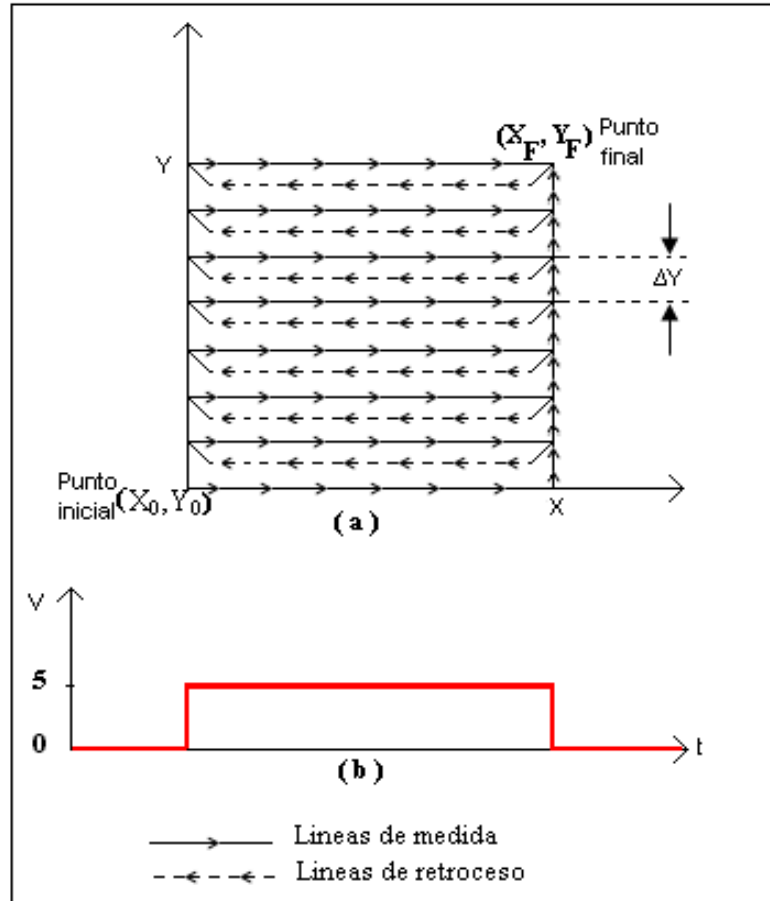


Figura 2: (a) Esquema de la secuencia del movimiento implementado.(b) Señal de Trigger.

## **3.2 Verificación de la sincronización entre el recorrido de la sonda Hall y las lecturas de la tensión Hall**

Para estudiar la sincronización entre los datos recogidos y el recorrido de la sonda Hall hemos hecho varias pruebas con distintos valores de los parámetros. A continuación discutimos algunos ejemplos que resumen los problemas detectados y las soluciones:

### Ejemplo 1:

Muestra: Imán permanente de diámetro 10 mm.

Velocidad del motor: 5 Vueltas/segundo

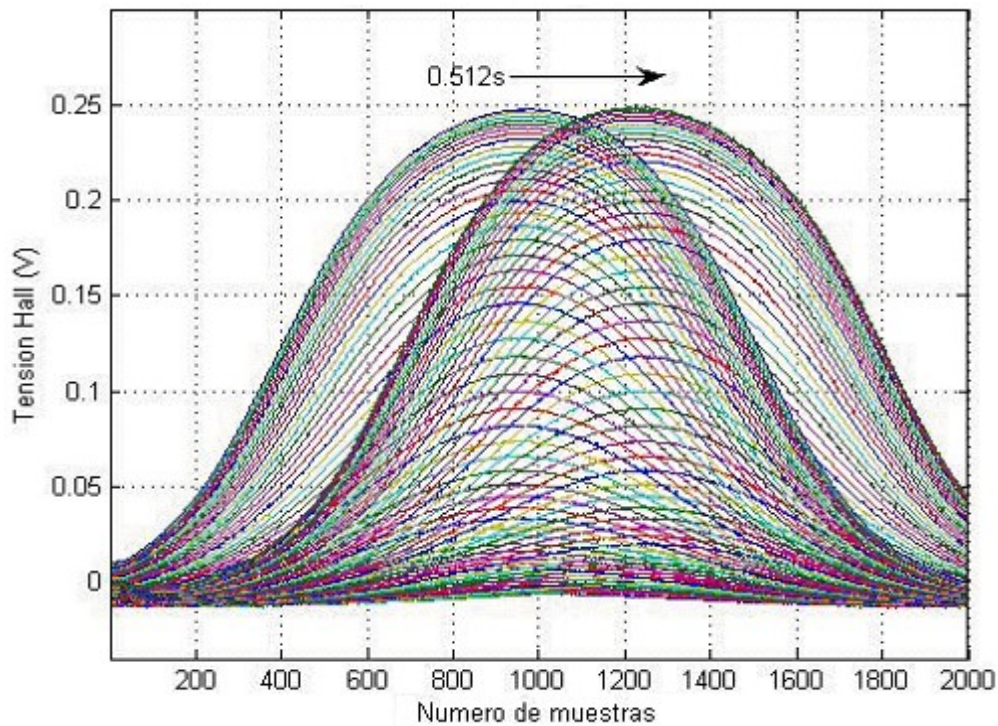
Resolución del motor: 4000 Pasos/vuelta

Mapa de dimensión 20x20 mm

Interlineado  $\Delta Y = 0.2$  mm

Frecuencia de muestreo: 500 Hz

Al representar los datos recogidos hemos obtenido resultados como los que muestra la figura 3:



*Figura 3: mapa del campo magnético de un imán permanente (ejemplo 1).*

Podemos observar claramente que las líneas del campo magnético están desplazadas unas respecto a otras, lo que da lugar a la aparición de dos picos en vez de uno. Esto demuestra que la sincronización entre el recorrido de la sonda Hall y la recogida de datos falla.

Este fallo puede estar causado por:

- La señal del trigger no está bien definida o no se produce correctamente la transición 0-5 V.
- La tarjeta no lee los datos cuando le toca por causa de algún retardo.

Para ver como es la señal del trigger, hemos puesto un osciloscopio a la salida de la señal del trigger y hemos podido ver que funciona correctamente, cada vez que se inicia la línea había un flanco de subida de 0 a 5 V. Lo que muestra que la señal del trigger físicamente funciona bien y el problema puede estar en la gestión que hacemos de la lectura en la tarjeta A/D.

En la figura 4, que muestra una parte de los datos que se leen en la entrada de la tarjeta A/D, podemos ver claramente que el canal del trigger no estaba leyendo sino que estaba saturado y hasta que no se reestablezca no vuelve a leer datos, lo que hace que se introduzca un retardo entre el comienzo del movimiento de la sonda y la lectura de los datos. Esto se traduce en el desplazamiento que vemos, en la figura 3, entre una línea del mapa y la siguiente.

Esta saturación es debida a que los dos canales de tensiones Hall y de Trigger tenían definido un mismo rango fijo de  $[-5\text{ V}, 5\text{ V}]$ .

Dado que las tensiones Hall recogidas tienen un mínimo de  $0\text{ V}$  y un máximo de  $280\text{ mV}$ , el rango óptimo del canal Hall debería ser  $[-0.5\text{ V}, 0.5\text{ V}]$  mientras que el rango del canal de Trigger debería ser  $[-10\text{ V}, 10\text{ V}]$  porque la señal es continua con un valor máximo de  $5\text{ V}$ . Esto lo hemos resuelto a nivel de programación poniendo un rango distinto por cada canal de lectura, tal como se explica en las dos siguientes líneas de código:

```
ai.Channel(1).InputRange=[-hvisio.rg hvisio.rg];  
ai.Channel(2).InputRange=[-10 10];
```

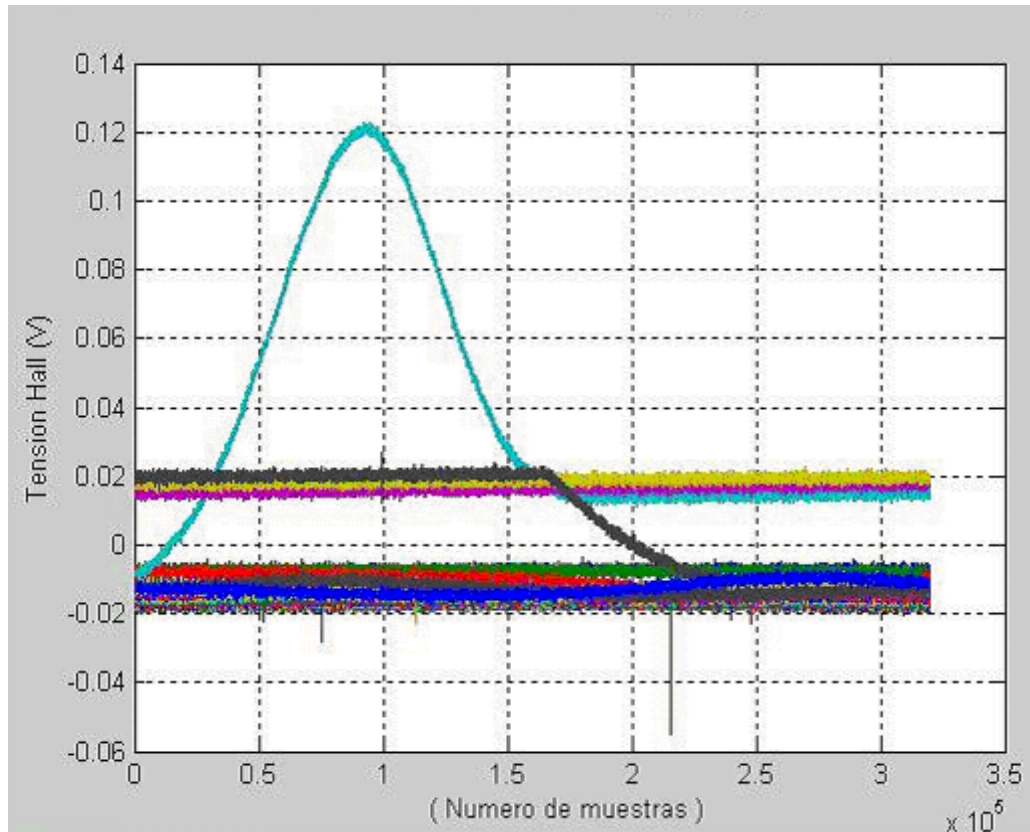
	1	2	3
15959	0.014419775692378118	4.606622415503166	41.422
15960	0.014572365911345083	4.633478294041352	41.424
15961	0.015030136568245976	4.776455329213397	41.425999999999995
15962	0.01518272678721294	5.0	41.428
15963	0.015640497444113832	5.0	41.43
15964	0.015335317006179903	5.0	41.431999999999995
15965	0.01487754634927901	5.0	41.434
15966	0.014724956130312047	5.0	41.436
15967	0.013962005035477225	5.0	41.437999999999995
15968	0.013656824597543298	4.76928358892195	41.44
15969	0.014724956130312047	4.5997558556496525	41.442
15970	0.01487754634927901	4.624475471122301	41.443999999999996
15971	0.01625085831998169	4.766079194323644	41.446
15972	0.016098268101014723	5.0	41.448
15973	0.016098268101014723	5.0	41.449999999999996
15974	0.016861219195849545	5.0	41.452
15975	0.015640497444113832	5.0	41.454
15976	0.014267185473411154	5.0	41.455999999999996
15977	0.013656824597543298	5.0	41.458
15978	0.013504234378576334	4.774013885709926	41.46
15979	0.014267185473411154	4.611810482948043	41.461999999999996
15980	0.01518272678721294	4.633478294041352	41.464
15981	0.015640497444113832	4.774471656366827	41.466

*Figura 4:* Fragmento de los datos registrados del ejemplo 1.

Columna 1: Tensiones Hall(V). Columna 2: Trigger(V).

Columna 3: Tiempo de lectura (s).

Hemos repetido el experimento varias veces, con las mismas condiciones, y hemos detectado que en algunos casos, al representar los resultados obtenemos gráficas como la que se muestra en la figura 5.



*Figura 5: Mapa del campo magnético de un imán permanente (ejemplo 1), donde se aprecia líneas de desplazamiento sin tensiones Hall registradas.*

Donde podemos ver que en algunas líneas la lectura de la tensión Hall es constante en toda la línea. Es como si el canal de lectura estuviera en circuito abierto o no ha detectado el flanco de subida de la señal del trigger para empezar la lectura.

Para saber la causa de este problema y solucionarlo, nos hemos puesto a revisar la condición del flanco de subida del trigger. Y después de tantos experimentos hemos verificado que la condición del trigger, que teníamos a Rising, era demasiado pequeña 0.1 V lo que hace que se pueda confundir con el valor del offset del sistema y no se determina correctamente la condición de inicio de lectura. Esto lo podemos observar claramente en la figura 6.



	1	2	3
100343	0.016273746852826735	0.8445868619821469	104.232
100344	0.01667048142214084	0.874189364461738	104.233
100345	0.015358205539024948	0.7951476310368505	104.234
100346	0.015175097276264591	0.6923018234531166	104.235
100347	0.01526665140764477	0.5513084611276418	104.236
100348	0.014381628137636377	0.36301213092240786	104.237
100349	0.014259555962462806	0.14358739604791332	104.238
100350	0.014442664225223164	-0.08224612802319371	104.239
100351	0.014290074006256199	-0.31967650873579	104.24
100352	0.014351110093842984	-0.550087739375906	104.241
100353	0.014763103685053788	-0.7444876783398184	104.242
100354	0.014061188677805753	-0.8488593881132219	104.243
100355	0.014747844663157091	-0.8412298771648737	104.244
100356	0.015709163042648966	-0.7481498435950256	104.245
100357	0.016441596093690395	4.290074006256199	104.246
100358	0.01581597619592584	4.526894026092927	104.247
100359	0.01628900587472343	4.793926909285115	104.248
100360	0.016609445334554055	5.070420386053254	104.249
100361	0.016655222400244144	5.345082780193789	104.25
100362	0.01645685511558709	5.590142671854734	104.251
100363	0.01676203555352102	5.738460364690623	104.252
100364	0.015922789349202715	5.841000991836423	104.253
100365	0.016151674677653164	5.842526894026093	104.254

*Figura 6:* Fragmento de los datos registrados del ejemplo 1. Columna 1: Tensiones Hall (V). Columna 2: Trigger (V). Columna 3: Tiempo de lectura (s).

Hemos podido solucionar este problema, a nivel de programación, poniendo un valor más grande al flanco de subida de tensión del trigger.

```
set(ai, 'TriggerConditionValue', 2)
```

Después de resolver el problema de la sincronización entre el recorrido de la sonda Hall i la recogida de datos hemos pasado a verificar la coherencia de datos.

### Ejemplo 2:

Muestra: Imán permanente de diámetro 10 mm.

Velocidad del motor: 5 Vueltas/segundo

Resolución del motor: 4000 Pasos/vuelta

Mapa de dimensión 20x20 mm

Interlineado  $\Delta Y = 0.2$  mm

Frecuencia de muestreo: 1 Khz

Si hacemos algunos cálculos obtendremos:

- El tiempo que se tarda para hacer una línea:

$$t = \left( \frac{1 \text{ Volta} / 1 \text{ mm}}{(\text{Velocidad motor})} \right) \cdot X (\text{ mm}) = \left( \frac{1 \text{ Veulta}}{1 \text{ mm}} \right) \cdot \left( \frac{1 \text{ s}}{5 \text{ Vueltas}} \right) \cdot 20 \text{ mm} = 4 \text{ s}$$

- El número total de muestras por línea:

$$n_l = t \cdot f = 1 \text{ KHz} \cdot 4 \text{ s} = 4000 \text{ muestras}$$

Donde:  $t$  es el tiempo de línea y  $f$  es la frecuencia de muestreo.

- El tiempo entre una lectura y otra:

$$\frac{t}{n_l} = \frac{4}{4000} = 0,001 \text{ s} = 1 \text{ ms}$$

- El número de líneas:

$$N = \frac{(Y (\text{ mm}))}{(\Delta Y (\text{ mm}))} = \frac{20 \text{ mm}}{0.2 \text{ mm}} = 100 \text{ lineas}$$

- El número total de muestras del mapa:

$$M = N \cdot n_l = 100 \cdot 4000 = 400000 \text{ muestras}$$

De las figuras 7 y 8 podemos comprobar que:

- Las lecturas se efectúan cuando la señal del trigger es mayor a 2 V.
- El número de muestras por línea es 4000.
- El número total de muestras es 400000 que concuerda con el número total de muestras.
- El tiempo transcurrido entre una lectura y otra es de 1 ms.
- Se tarda 4s para hacer el barrido de una línea del mapa tal como lo hemos calculado.

	1	2	3
3990	0.01625085831998169	5.098191805905241	3.989000000000000...
3991	0.016098268101014723	5.364003967345693	3.99
3992	0.016403448538948654	5.583428702220187	3.991
3993	0.01594567788204776	5.800106813153277	3.992
3994	0.016098268101014723	5.911497672999161	3.993000000000000...
3995	0.01594567788204776	5.907835507743954	3.994
3996	0.015487907225146869	5.818722819867246	3.995
3997	0.01487754634927901	5.693293659876402	3.996
3998	0.01487754634927901	5.508659494926375	3.997000000000000...
3999	0.014267185473411154	5.300526436255436	3.998
4000	0.014267185473411154	5.039902342259861	3.999
4001	0.017624170290684367	4.321812771801327	8.508
4002	0.017929350728618294	4.569924467841611	8.508999999999999
4003	0.017929350728618294	4.839093614099336	8.51
4004	0.018081940947585258	5.1253528648813615	8.511
4005	0.017929350728618294	5.396963454642558	8.511999999999999
4006	0.018539711604486152	5.626764324406806	8.513
4007	0.018234531166552225	5.744869153887236	8.514

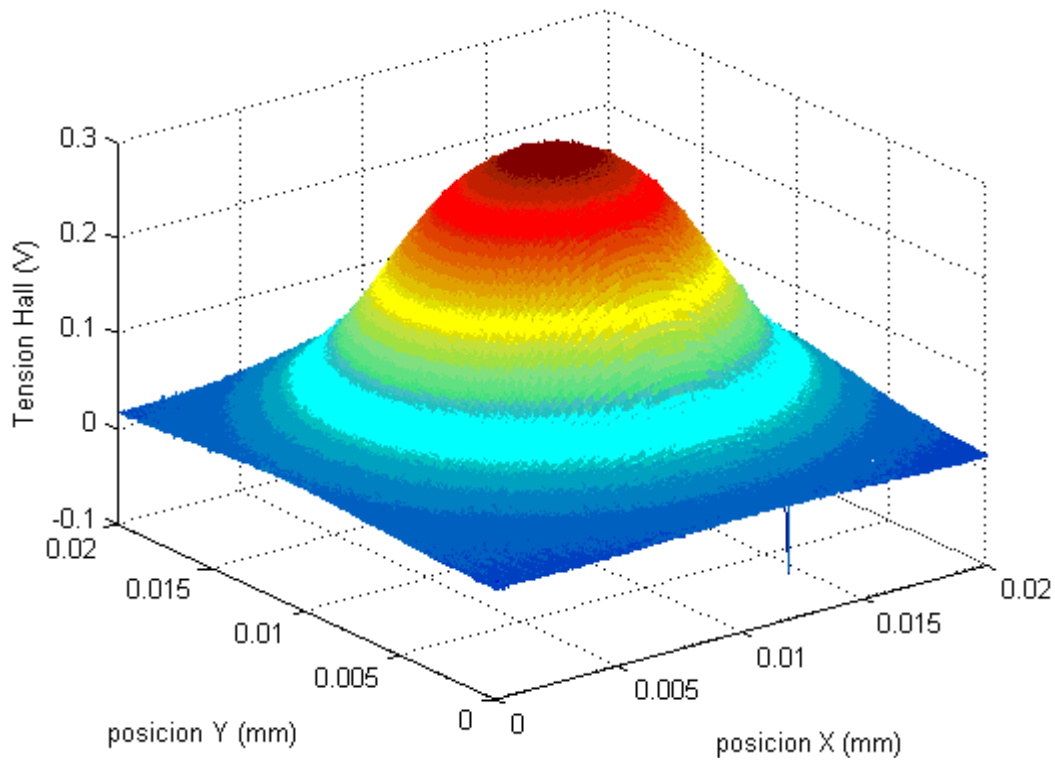
*Figura 7:* Fragmento de los datos registrados del ejemplo 2. Donde se aprecia que la primera línea del mapa finaliza en el registro número 4000.

399984	0.01915007248035401	5.864805065995269	842.55300000000001
399985	0.01915007248035401	5.752803845273518	842.55400000000001
399986	0.018692301823453116	5.590142671854734	842.55500000000001
399987	0.018081940947585258	5.382009613183795	842.556
399988	0.018081940947585258	5.153124284733349	842.55700000000001
399989	0.017624170290684367	4.898908979934387	842.55800000000001
399990	0.017929350728618294	4.62424658579385	842.55900000000001
399991	0.017929350728618294	4.409399557488365	842.56000000000001
399992	0.01838712138551919	4.292820630197604	842.561
399993	0.017166399633783476	4.255588616769665	842.56200000000001
399994	0.019455252918287938	4.298008697642481	842.56300000000001
399995	0.01884489204242008	4.4087891966124975	842.56400000000001
399996	0.01991302357518883	4.580605783169299	842.565
399997	0.019760433356221865	4.780193789578088	842.566
399998	0.020065613794155793	5.005416952773327	842.56700000000001
399999	0.020370794232089724	5.252918287937743	842.56800000000001
400000	0.020370794232089724	5.4949263752193485	842.56900000000001
400001			

*Figura 8:* Fragmento de los datos registrados del ejemplo 2. Donde se aprecia que la lectura 400000 corresponde al final del mapa.

En la primera columna tenemos la tensión Hall  $V_H(V)$ , en la segunda la señal del trigger  $V_{trig}(V)$  y en la tercera el instante de tiempo en el cual se realizó la lectura  $t(s)$ .

En consecuencia obtenemos el mapa mostrado en la figura 9.



*Figura 9:* Representación de tensiones Hall en tres dimensiones (ejemplo 2).

De ello, podemos deducir que hay una correlación entre la señal del trigger y las lecturas de tensión Hall.

### 3.3 Confirmación sistemática de la coherencia de datos medidos

En este apartado vamos a presentar una serie de ejemplos de medidas, realizadas con el sistema implementado, para mostrar su buen funcionamiento de forma totalmente reproducible y sistemática.

#### Ejemplo 3:

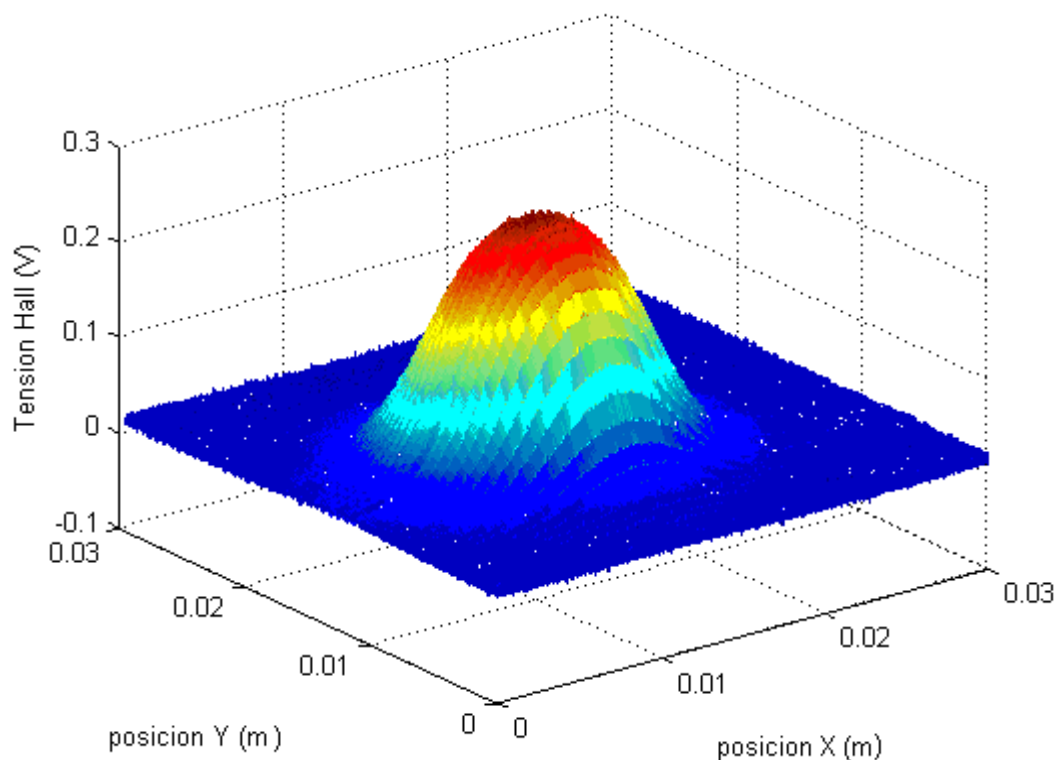
Muestra: Imán permanente de diámetro 10 mm.

Velocidad del motor: 5 Vueltas/segundo

Resolución del motor: 4000 Pasos/vuelta

Mapa de dimensión 30x30 mm

Frecuencia de muestreo: 4 KHz



*Figura 10:* Representación de tensiones Hall en tres dimensiones (ejemplo 3).

#### Ejemplo 4:

Muestra: Imán permanente de diámetro 10 mm.

Velocidad del motor: 5 Vueltas/segundo

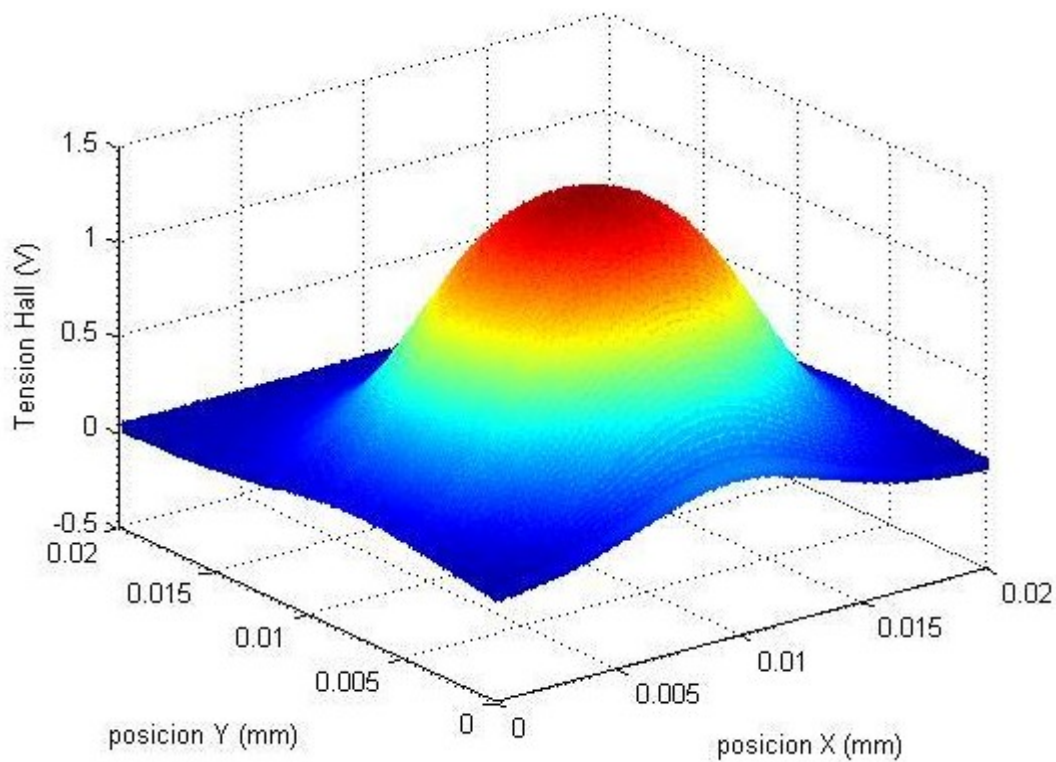
Resolución del motor: 4000 Pasos/vuelta

Mapa de dimensión 20x20 mm

Frecuencia de muestreo: 8 KHz

Factor de ganancia: 8

Rango de la tarjeta A/D: [-10 V , 10V]



*Figura 11:* Representación de las tensiones Hall en tres dimensiones (ejemplo 4).

Como hemos podido comprobar, el resultado de los mapas es idéntico, por tanto, podemos decir que el sistema de medidas tiene un funcionamiento correcto.

### 3.4 Almacenamiento de los datos recogidos

Respecto a la parte de almacenamiento de datos, en el trabajo anterior, se guardaban las tensiones Hall en el fichero 'DatosMapa.daq' con una marca NaN de final de línea, tal como muestra la figura 12, que nos impedía procesarlos después.

	1	2
3991	0.19310292210269323	0.23979552910658428
3992	0.1927977416647593	0.022049286640726327
3993	0.19264515144579233	-0.2272831311512932
3994	0.19218738078889144	-0.46334019989318687
3995	0.19295033188372626	-0.66323338673991
3996	0.19340810254062715	-0.8046845197222858
3997	0.19310292210269323	-0.8353551537346456
3998	0.19310292210269323	-0.7677576867322805
3999	0.1949340047302968	-0.6145571068894484
4000	0.19417105363546197	-0.42107270923933776
4001	NaN	NaN
4002	0.1949340047302968	0.6232547493705654
4003	0.19478141451132983	0.7892729076066224
4004	0.194018463416495	0.8460364690623331
4005	0.1932555123216602	0.829861905851835
4006	0.1932555123216602	0.7337300679026474
4007	0.19356069275959412	0.6017395284962234
4008	0.1932555123216602	0.4384679942015717
4009	0.19264515144579233	0.24467841611352711
4010	0.19172961013199055	0.01884489204242008
4011	0.19295033188372626	-0.22926680399786373
4012	0.19264515144579233	-0.46517128252079043
4013	0.19172961013199055	-0.6552986953536278
4014	0.1932555123216602	-0.7993438620584421
4015	0.19081406881818874	-0.8197909514000152

*Figura 12:* Fragmento de los datos recogidos con la marca de final de línea.

En este trabajo, por una parte, hemos implementado un algoritmo para quitar la marca de final de línea y por otra parte, en vez de recoger sólo las lecturas de la sonda Hall, hemos optado por guardar las tensiones Hall, la tensión del Trigger y el tiempo correspondiente a cada lectura en tres ficheros diferentes:

- En el fichero ‘nom1\_mesura.dat’, almacenamos una matriz de orden numMuestras x 3. Dónde la primera columna contiene las lecturas recogidas de la tensión Hall  $V_H(V)$ , la segunda columna contiene la señal del Trigguer  $V_{trig}(V)$  y en la tercera columna hemos guardado el tiempo t(s) de cada lectura. Sin la marca final de línea.

Como explicaremos al apartado 5.2, también generamos un fichero “.dat” que contiene la misma matriz de datos pero con una precisión de 8 dígitos después de la coma y separando los números con un espacio simple. Esta estructura del archivo nos permite la exportación de los datos a otros programas como por ejemplo el Excel.

- En el fichero ‘nom1\_mapa.dat’ hemos guardado una matriz de orden numMuestras\*3, dónde la primera columna es una tira de posiciones X(m), la segunda columna es una tira de posiciones Y(m) y la tercera es una tira de posiciones Hall  $V_H(V)$ .

Para generar esta matriz, primero calculamos los siguientes parámetros:

Tiempo de línea, número de muestras por línea  $n_l$ , número de líneas del mapa

$N$ , el número total de muestras  $M$  y el incremento  $\Delta X = \frac{X}{n_l}$ .

Para obtener los dos vectores que contienen las  $n_l$  posiciones horizontales y las  $M$  posiciones verticales del mapa, igualmente espaciados según el incremento de cada vector y que van creciendo de forma lineal. En Matlab, hay una forma sencilla que nos lo permite.

Con la siguiente comanda:  $PosX_{(1 \cdot n_l)} = (0 : \Delta X : X - \Delta X)$

Obtenemos el vector:  $PosX_{(1 \cdot n_l)} = [0 \ \Delta X \ 2 \cdot \Delta X \ 3 \cdot \Delta X \ 4 \cdot \Delta X \dots (X - \Delta X)]$



De aquí construimos la matriz de orden  $M \times 3$ ,  $A=(a_{ij})$ , con  $i=1,2,3 \dots M$  y  $j=1,2,3$ .

Donde:

$$[i_1 \ i_2 \ \dots \ i_{n_1}] = [i_{n_1+1} \ i_{n_1+2} \ \dots \ i_{2n_1}] = [i_{2n_1+1} \ i_{2n_1+2} \ \dots \ i_{3n_1}] = \dots = [i_{(N-1)n_1+1} \ i_{(N-1)n_1+2} \ \dots \ i_M] = \text{PosX}$$

$$j_1 = j_2 = j_3 = \dots = j_{n_1} = \text{PosY}(1), \quad j_{n_1+1} = j_{n_1+2} = \dots = j_{2n_1} = \text{PosY}(2),$$

$$j_{(N-1)n_1+1} = j_{(N-1)n_1+2} = \dots = j_M = \text{PosY}(l)$$

- También guardamos un el fichero ‘nom1\_mapa\_prom.dat’ una matriz con los datos promediados. dónde la primera columna es una tira de posiciones  $X(m)$ , la secunda columna es una tira de posiciones  $Y(m)$  y la tercera es una tira de posiciones Hall  $V_H(V)$ .

Por tal de disminuir el ruido aleatorio introducido a las lecturas de las tensiones Hall, hemos optado por promediar dichas tensiones. En este caso, el usuario introduce el valor del incremento horizontal,  $\Delta X$ , y a partir de este incremento

calculamos el número de muestras para el promedio,  $n_p = \frac{(n_l \cdot \Delta X)}{X}$ . Por cada

$n_p$  puntos consecutivos que promediamos obtenemos un punto cuya amplitud es la suma de las amplitudes de los  $n_p$  puntos anteriores, dividiendo ese valor por  $n_p$ .

La matriz de valores promediados es de orden  $(M/n_p) \times 3$ , la construimos de forma similar a la matriz anterior, teniendo como tensiones los valores promediados y modificando el incremento horizontal del vector PosX.

Cabe decir que “nom1” es un parámetro de entrada por el usuario.

# Capítulo 4

## Módulo de representación gráfica de los resultados

La finalidad de este módulo es la de representar gráficamente el contenido de los ficheros generados por la aplicación, en concreto el valor de la tensión Hall sobre la superficie del material a estudiar. De esta manera el usuario puede comprobar la calidad de la medida que se acaba de ejecutar sin la necesidad de salir del programa.

### 4.1 Lenguaje de programación utilizado

Como hemos comentado anteriormente, el programa de control mecánico de este nuevo equipo de magnetometría Hall fue implementado dentro del entorno Matlab, en su versión 7.0. La razón principal que nos ha conducido a utilizar esta herramienta de desarrollo, ha sido la posibilidad de utilizar este programa de control mecánico y también por la amplia variedad de gráficos en dos y tres dimensiones que nos proporciona el Matlab.

## 4.2 Funciones del módulo de representación gráfica

El código que hemos implementado para este módulo está en el fichero *projecte\_actual* junto con los módulos de lectura de datos y la interfaz de usuario.

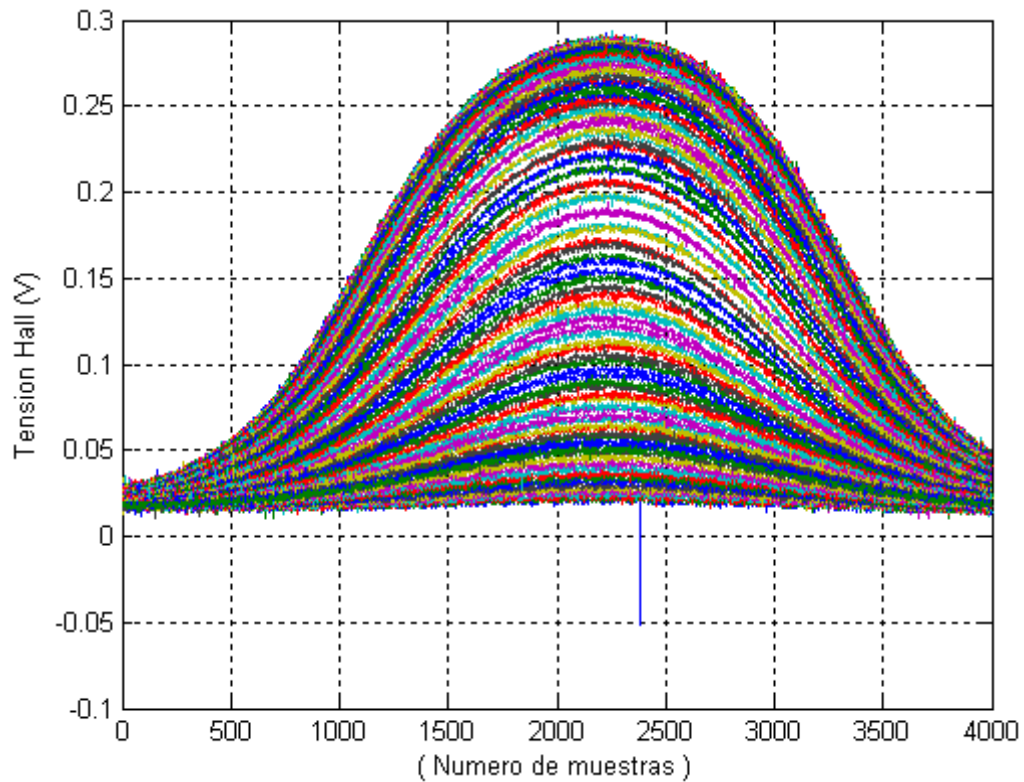
Hemos dividido la aplicación en diferentes funciones independientes que se pueden ejecutar por separado, para facilitar al usuario ejecutar sólo la parte del programa, la función, que le interesa sin tener la necesidad de ejecutarlo todo de un solo golpe.

### **function brutos(hco,eventStruct)**

Esta función nos permite representar los datos recogidos en un gráfico de dos dimensiones, superpone los valores registrados en todas las líneas de medida que forman el mapa tal como muestra la figura 13.

Mediante cinco pasos:

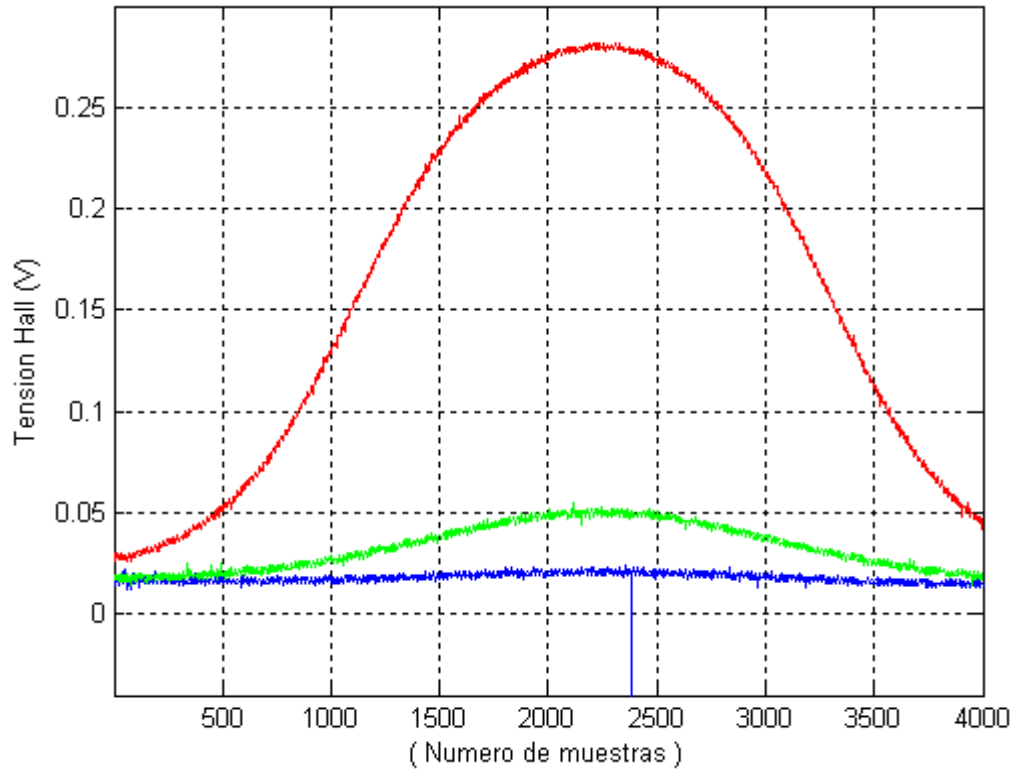
1. abre el fichero 'nom1\_mapa' para leer las tensiones Hall.  
Si el fichero no existe abre una ventana de error, para informar del tipo del error que se ha producido, y detiene la ejecución del programa.
2. Ordena los datos en la matriz *mapa* de dimensiones  $N \times n_l$ .  
Donde  $N$  es el número de líneas del mapa y  $n_l$  el número de muestras por línea.
3. Genera el vector *muestras* de dimensión  $1 \times n_l$ .
4. Abre una nueva ventana de figura.
5. Representa los datos mediante la función *plot*.



*Figura 13:* Representación de las tensiones Hall en un gráfico de dos dimensiones (ejemplo 2).

**function lineas\_2(hco,eventStruct)**

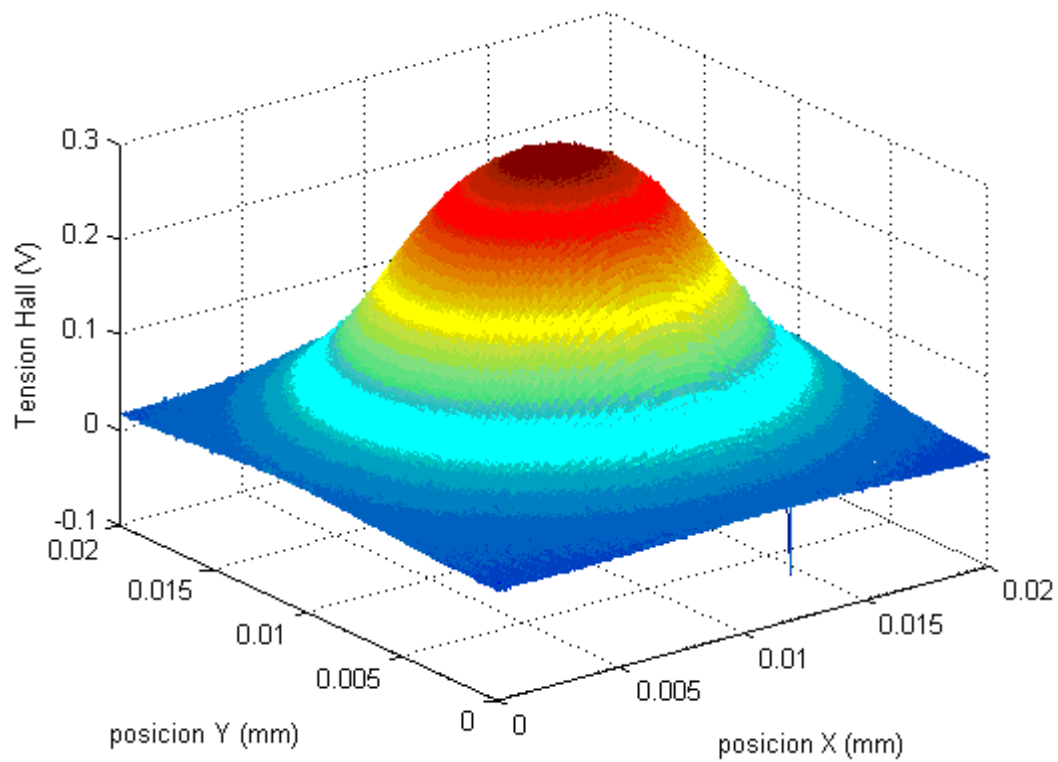
Esta función actúa igual que la anterior para representarnos sólo tres líneas del mapa en una misma figura. Son la primera, la última y la de posición central que se calcula según la fórmula: parte entera (numero total de líneas / 2).



*Figura 14:* Representación gráfica de tres líneas en 2 dimensiones (ejemplo 2). La primera la representamos con el color azul, la del medio con el color rojo y la última con el color verde.

**function brutos3D(hco,eventStruct)**

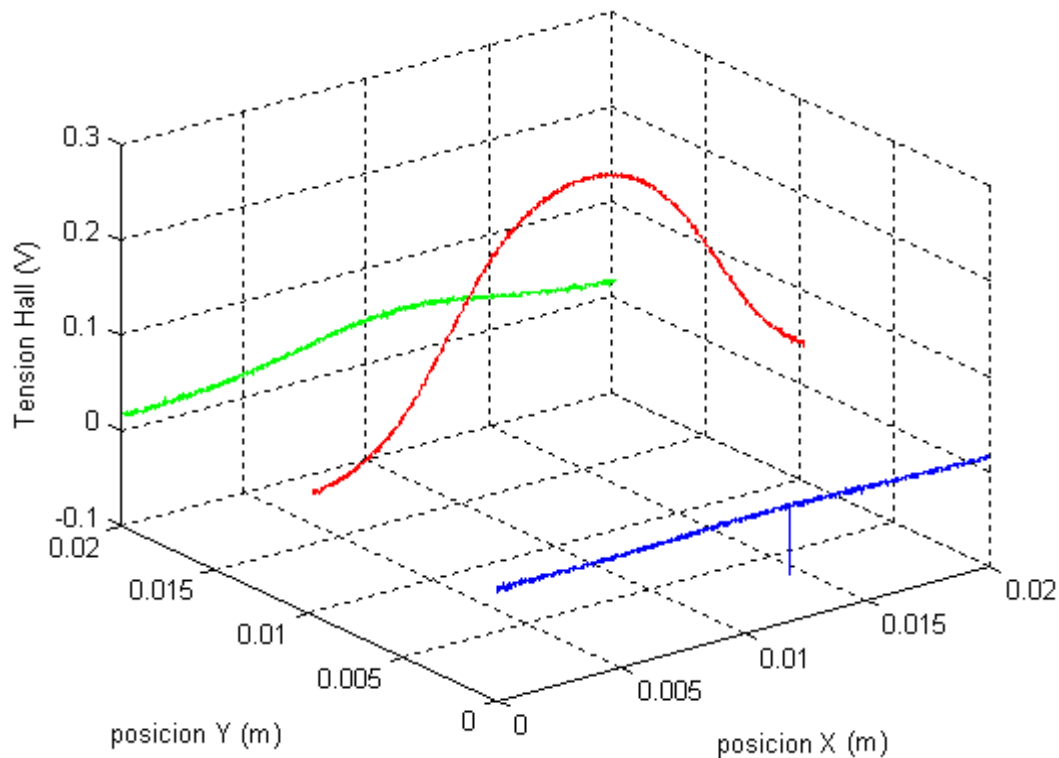
Nos permite igual que la función `brutos` representar los datos recogidos en una gráfica, esta vez de tres dimensiones tal como muestra la figura 15, en lo que sería un mapa  $V_H(x,y)$ .



*Figura 15:* Representación gráfica de los datos en tres dimensiones (ejemplo 2):  $VH(x,y)$ .

**function lineas\_2\_3D(hco,eventStruct)**

Nos permite igual que la función `lineas_2` representar tres líneas de los datos recogidos en una gráfica de tres dimensiones tal como muestra la figura 16.



*Figura 16: Representación gráfica de tres líneas de los datos recogidos en tres dimensiones (ejemplo 2).*

**function Fourier(hco,eventStruct)**

Con esta función podemos representar la transformada de Fourier de una línea del mapa de barrido mediante los siguientes pasos:

1. abre el fichero de datos 'nom1\_mesura'.  
Si el fichero no existe abre una ventana de error, para informar del tipo del error que se ha producido, y detiene la ejecución del programa.
2. Pide al usuario el número de la línea que desea representar.  
Si el número de línea introducido por el usuario supera el número total de líneas, transmite un mensaje de error y detiene la ejecución de la función, si no, continúa con el paso siguiente.
3. Copia sólo las tensiones Hall y las ordena en la matriz mapa de

dimensiones  $N \times n_1$ .

4. Copia la fila del mapa en un vector. Les resta a todos los valores el valor medio de los valores de la fila. Mediante la función:

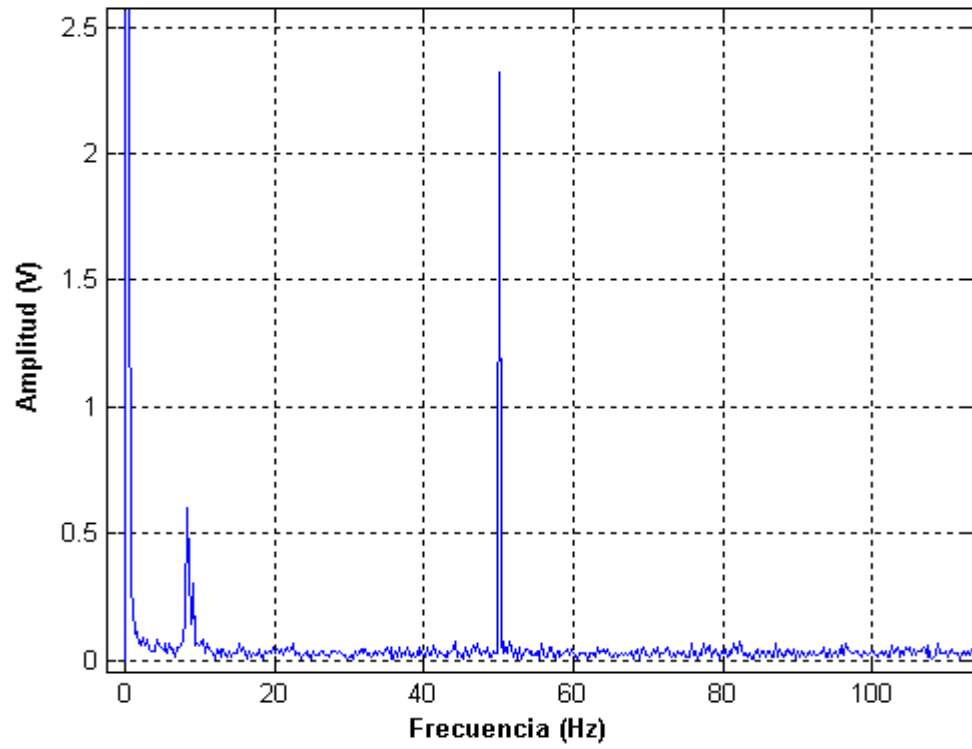
```
mapaL = mapa(L, :) - mean(mapa(L, :))  
furi=abs(fft(mapaL))
```

Dónde L es el parámetro que indica el número de línea que se desea representar.

5. Calcula la transformada de Fourier y la representa en una figura nueva.

```
mapaL = mapa(L, :) - mean(mapa(L, :))  
furi=abs(fft(mapaL))
```





*Figura 17:* Transformada de Fourier de la línea L del mapa (ejemplo 2).

# Capítulo 5

## Implementación de la interfaz de usuario

Esta parte del programa tiene el fin de facilitar al usuario la configuración del sistema, de modo que pueda introducir o modificar de forma sencilla los parámetros controlables antes de la ejecución de cada experimento sin tener la necesidad de saber la estructura del programa para modificar manualmente cada parámetro.

### 5.1 Los parámetros del sistema de medida

Los parámetros que puede establecer el usuario son:

- Respecto al motor:
  - La velocidad de los motores: Se especifica la velocidad de movimiento en Vueltas por segundo, para adecuarlo a las exigencias de cada mapa.

- La resolución del motor: Puede ser 400, 800, 2000 o 4000 Pasos por vuelta.
  - Longitud horizontal del mapa (X): Se especifica en mm. Con un máximo de 100 mm.
  - Longitud vertical del mapa (Y): Se especifica en mm. Con un máximo de 100 mm.
  - Incremento vertical ( $\Delta Y$ ): Es el salto entre una línea y la línea siguiente. Se especifica en mm.
- Respecto a la tarjeta A/D:
    - El rango de entrada de la tarjeta: Se permite cambiar el rango por defecto de la entrada de la tarjeta A/D para adecuarlo a las necesidades del experimento a realizar.
    - La frecuencia de muestreo de la tarjeta: Valor máximo es de 200 KHz.
  - Respecto al almacenamiento de datos:
    - Fichero de datos directos: Es el nombre del fichero que contiene la tira de tensiones Hall  $V_H(V)$ , la tira de tensiones del trigger  $V_{trig}(V)$  y la tira del tiempo  $t(s)$ .

Por ejemplo: Si el usuario introduce el valor “nombre”, el programa genera 4 ficheros:

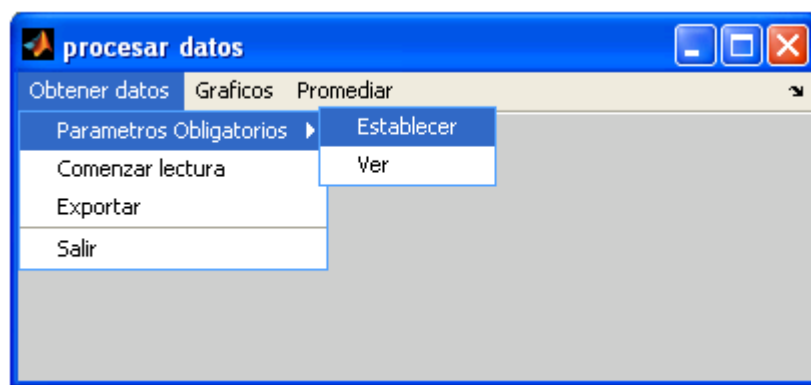
- “nombre\_mesura.dat”: Contiene la tira de tensiones Hall  $V_H(V)$ , tira de tensiones de trigger  $V_{trig}(V)$  y la tira del tiempo de la medida  $t(s)$ .
- “nombre\_mapa.dat”: Contiene la tira de las posiciones X (mm), tira de las posiciones Y (mm) y la tira de tensiones Hall  $V_H(V)$ .
- “nombre\_mapa\_prom.dat”: Contiene las mismas tiras del fichero anterior pero

con los datos promediados.

- “nombre.prg” : Es un fichero de texto que contiene la descripción de los parámetros con los que se ha ejecutado el experimento.

## 5.2 Interacción usuario programa

Mediante las funciones que nos proporciona Matlab, hemos diseñado una ventana que permitirá la interactividad entre usuario y programa, tal como muestra la figura 18.



*Figura 18:* Ventana principal del programa.

Debajo de la barra de título, donde se muestra el nombre de la aplicación, se encuentra la barra de menús, formada por tres menús con sus opciones correspondientes.

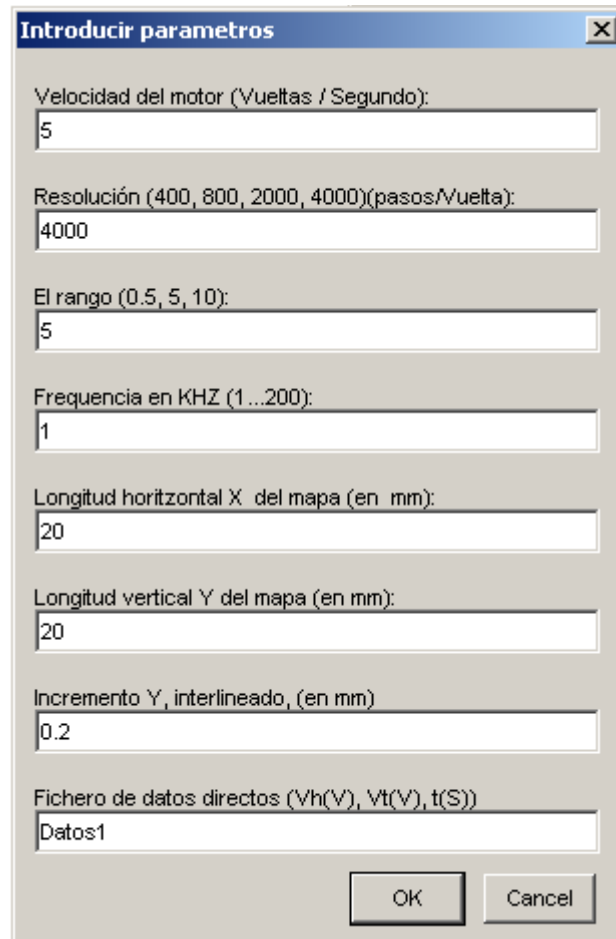
- **Obtener datos:**

Tal como se muestra en la figura 18, de este menú se despliegan tres opciones:

- Parámetros Obligatorios, que a su vez es un submenú con dos opciones, Establecer y Ver.

a) Si elegimos la opción Establecer se ejecuta la función :

function parametros1(hco,eventStruct) que nos abre ventana de diálogo que muestra la figura 19.



Introducir parametros

Velocidad del motor (Vueltas / Segundo):  
5

Resolución (400, 800, 2000, 4000)(pasos/Vuelta):  
4000

El rango (0.5, 5, 10):  
5

Frecuencia en KHZ (1...200):  
1

Longitud horizontal X del mapa (en mm):  
20

Longitud vertical Y del mapa (en mm):  
20

Incremento Y, interlineado, (en mm)  
0.2

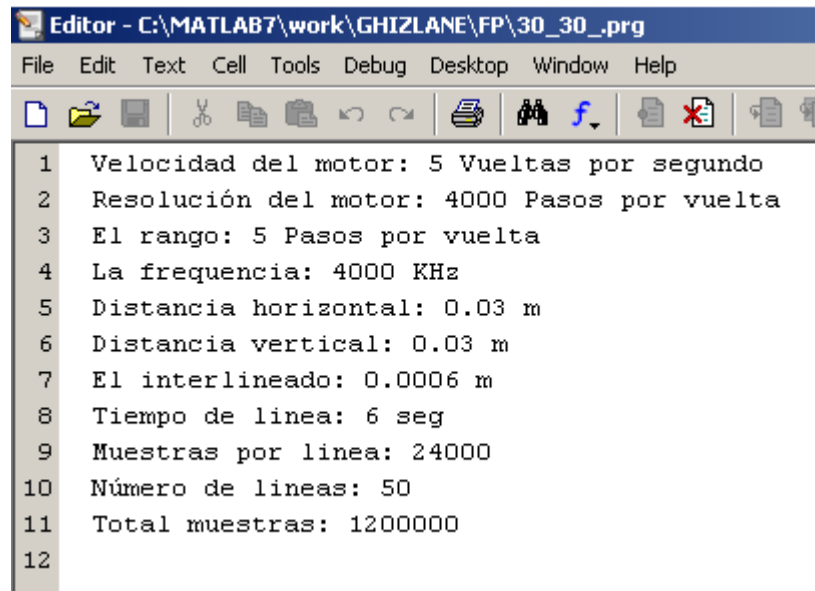
Fichero de datos directos (Vh(V), Vt(V), t(S))  
Datos1

OK Cancel

*Figura 19:* Ventana de diálogo para establecer los parámetros de usuario.

Esta función nos permite establecer los parámetros óptimos del sistema: velocidad del motor, resolución, rango de la tarjeta A/D, el factor de ganancia del amplificador, frecuencia de muestreo, dimensiones del mapa y el nombre del fichero donde queremos guardar los datos recogidos de las lecturas de las tensiones Hall en la superficie de la muestra.

A parte de actualizar el contenido de la estructura de parámetros, nos permite generar un fichero de texto dónde se guardan estos parámetros obtenidos. La figura 20 nos muestra el contenido de un fichero de texto.



```
Editor - C:\MATLAB7\work\GHIZLANE\FP\30_30_.prg
File Edit Text Cell Tools Debug Desktop Window Help
[Icons]
1 Velocidad del motor: 5 Vueltas por segundo
2 Resolución del motor: 4000 Pasos por vuelta
3 El rango: 5 Pasos por vuelta
4 La frecuencia: 4000 KHz
5 Distancia horizontal: 0.03 m
6 Distancia vertical: 0.03 m
7 El interlineado: 0.0006 m
8 Tiempo de línea: 6 seg
9 Muestras por línea: 24000
10 Número de líneas: 50
11 Total muestras: 1200000
12
```

Figura 20: El contenido del fichero de texto que registra los valores de los parámetros en cada experimento.

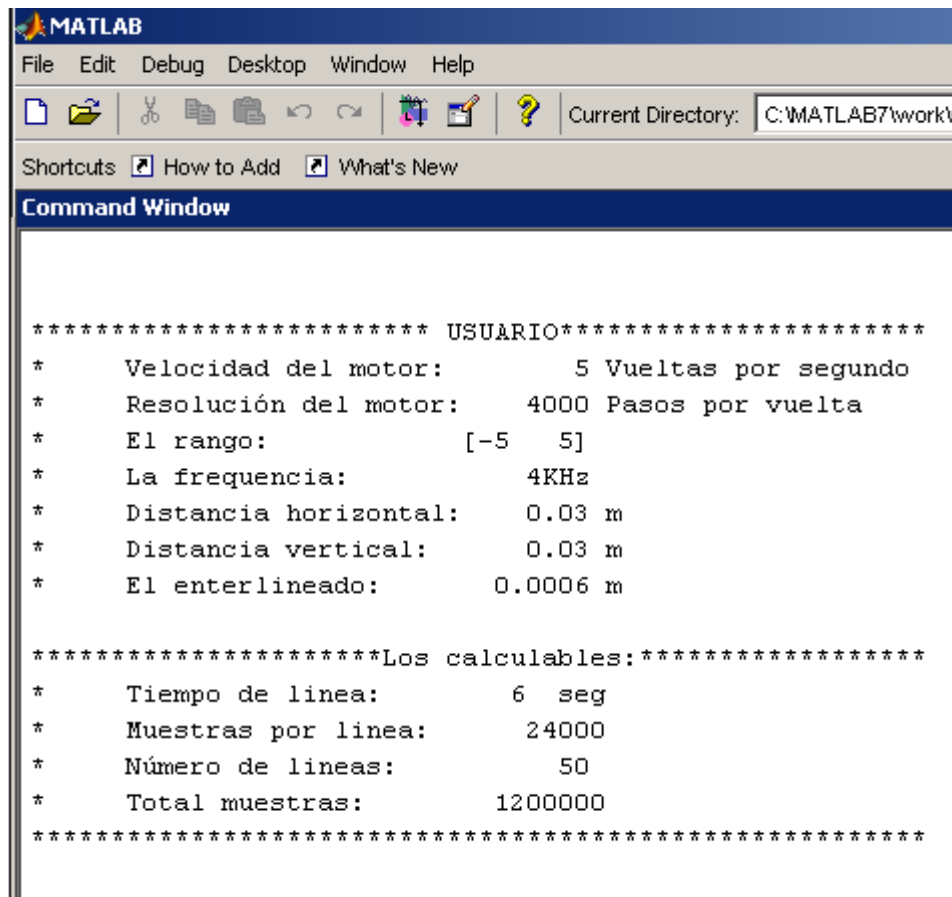
Esta función también calcula unos parámetros de desplazamiento de las dos guías verticales y accede a los dos ficheros de control de los Drivers, *horitz.prg* y *vertic.prg*, para modificar automáticamente estos parámetros de desplazamiento según los parámetros fijados por el usuario:

- Distancia para recorrer las dimensión horizontal (X) y vertical (Y).
- Distancia para recorrer la mitad de las líneas horizontal y vertical.
- El salto de línea  $\Delta Y$ .

b) La segunda opción Ver, ejecuta la función siguiente:

```
function VerParametros1 (hco,eventStruct)
```

Nos permite visualizar los parámetros establecidos por la función anterior y otros parámetros que se calculan a partir de ellos, imprimiéndolos en la ventana de comandos de Matlab tal como muestra la figura 21:



```
***** USUARIO*****
*   Velocidad del motor:      5 Vueltas por segundo
*   Resolución del motor:    4000 Pasos por vuelta
*   El rango:                [-5  5]
*   La frecuencia:           4KHz
*   Distancia horizontal:     0.03 m
*   Distancia vertical:       0.03 m
*   El enterlineado:         0.0006 m

*****Los calculables:*****
*   Tiempo de linea:         6 seg
*   Muestras por linea:      24000
*   Número de lineas:        50
*   Total muestras:          1200000
*****
```

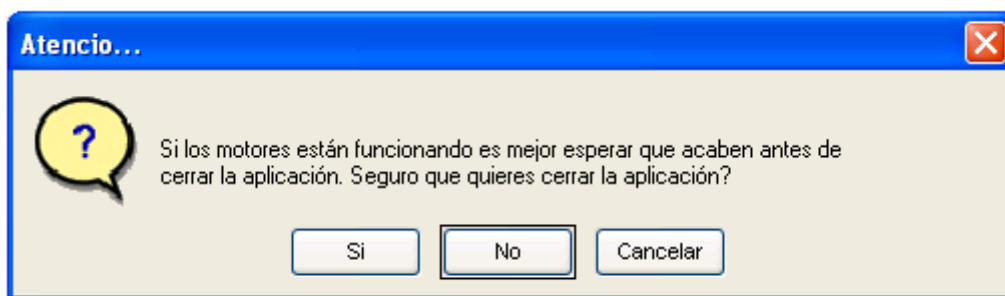
Figura 21: Parámetros impresos en la ventana de comandos de Matlab.

- Comenzar lectura: Al ejecutar el programa por primera vez esta opción nos sale deshabilitada, porque no puede ser ejecutada antes de la obtención de los parámetros óptimos del sistema de medidas. Por ello, hemos añadido un control al final del código de la función `parametros1` que la habilita.

Con esta opción se ejecuta la función function:

`generarficheros(hco,eventStruct)` que gestiona el algoritmo de movimiento de los motores y pone en marcha la lectura de las tensiones Hall. Después genera dos ficheros de salida: “nombre\_mesura” y “nombre\_mapa”.

- **Exportar:** Nos permite generar a partir del archivo “nombre\_mesura.dat” otro archivo ‘.dat’ que contiene la misma matriz de datos pero con una precisión de 8 dígitos después de la coma y separando los números con un espacio simple. Esta estructura del archivo nos permite la exportación de los datos a otros programas como por ejemplo el Excel.
- **Salir:** Nos permite salir de la aplicación, y antes nos muestra un aviso para recordar que es mejor tener los motores parados antes de cerrar la aplicación.

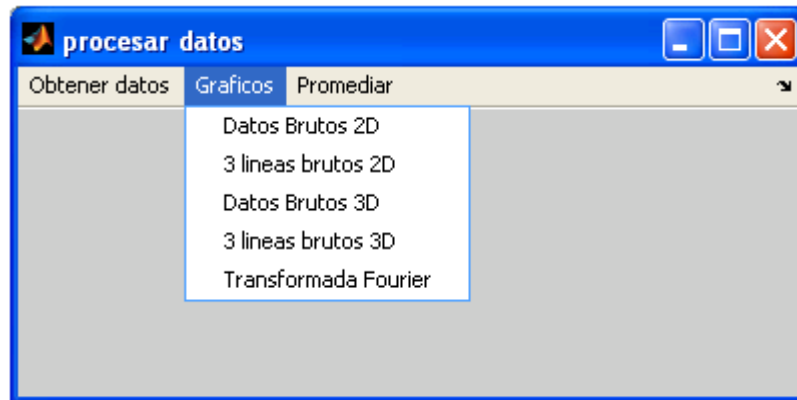


*Figura 22: Mensaje de aviso.*

- **Graficos:**

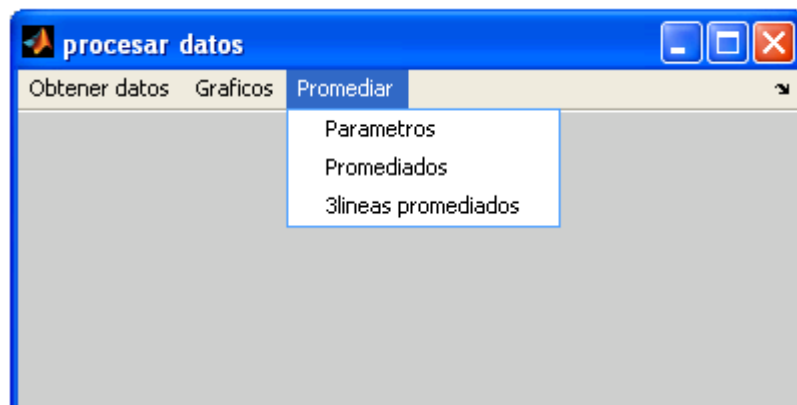
Tal como muestra la figura 23, de este menú se despliegan las opciones que nos permiten ejecutar las diferentes funciones del módulo de la representación gráfica de los resultados, que se han explicado en el capítulo 4.





*Figura 23: El desplegable del menú Graficos.*

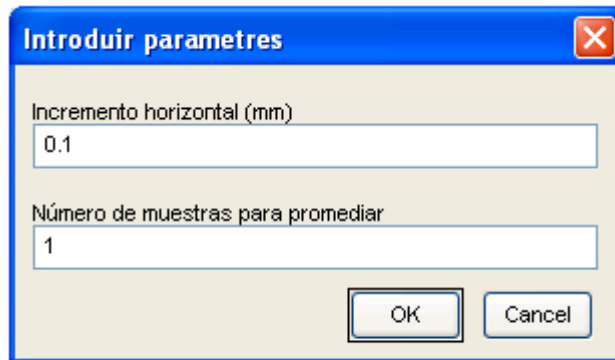
- **Promediar**



*Figura 24: El desplegable del menu Promediar.*

De este menú se despliegan tres opciones:

- **Parámetros:** Es una opción que ejecuta la función:  
`function parametros2 (hco,eventStruct),` que nos abre la siguiente ventana de diálogo:



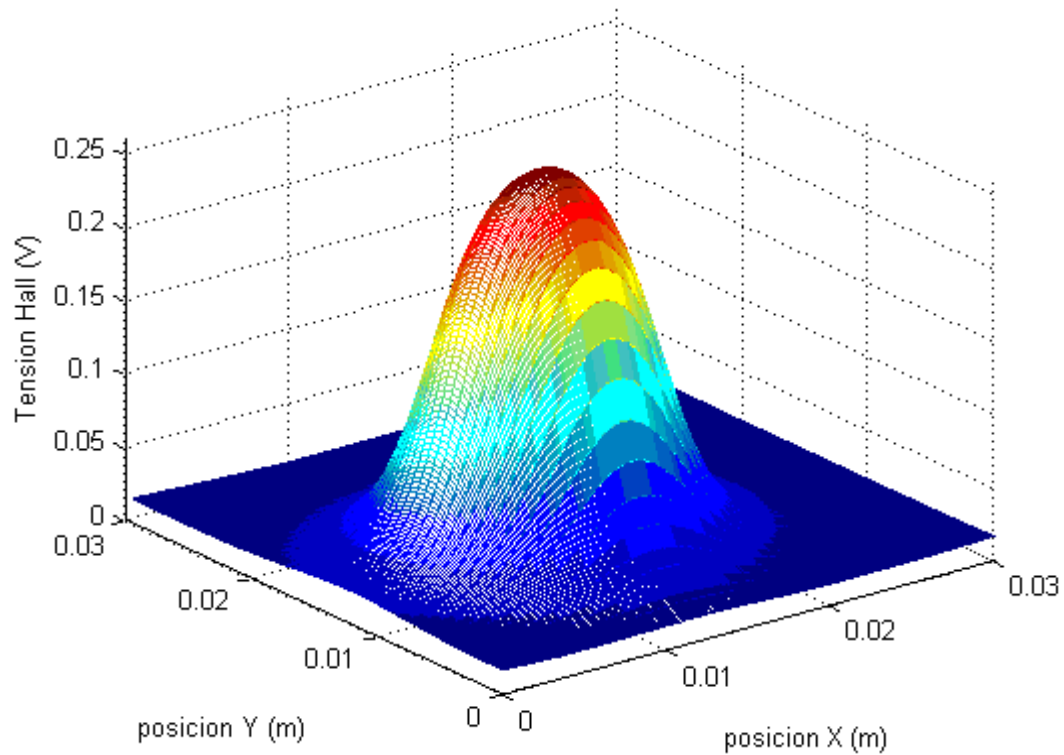
*Figura 25: Los parámetros del promedio.*

Nos permite establecer los parámetros secundarios del sistema, como por ejemplo el incremento horizontal y el número de muestras para promediar.

- Promediados: Es la opción que nos permite ejecutar la función:  
`function promediados(hco,eventStruct)` que nos calcula el promedio de los datos del fichero "nom\_mesura.dat" y los representa en una gráfica de tres dimensiones mediante la función:

```
mesh(posX,posY,mapa_p)
```

Donde: `posX` es el vector de las posiciones x, `posY` el vector de las posiciones Y, `mapa_p` es la matriz que tiene los datos promediados.



*Figura 26:* Representación de los datos promediados en tres dimensiones (ejemplo 3).

- 3 líneas promediadas: Mediante esta opción podemos ejecutar la función:

**function lineas\_2promediados(hco,eventStruct)**

Que nos permite representar sólo tres líneas. La primera, la del medio y la última línea con los colores azul, rojo y verde consecutivamente. Cada línea se representa en una figura diferente.

# Capítulo 6

## Incorporación de un preamplificador de señal

Con el objetivo de aumentar la resolución de nuestro sistema de medida y reducir al máximo el ruido hemos optado por incorporar un preamplificador de señal. Que nos permite, al mismo tiempo, aplicar factores de ganancia y realizar un filtrado de la señal que deseamos estudiar.

### 6.1 Utilidad de la amplificación de señal

La resolución de la tarjeta A/D viene dada por el número de bits utilizados para representar una señal analógica. Cuanto mayor sea el número de bits utilizado mayor será la precisión de las mediciones. Si la tarjeta A/D es de n-bits, tiene un rango de

entrada de  $[L, H]$  la tarjeta tiene una resolución de  $\frac{(H-L)}{2^n}$ .

En nuestro caso por ejemplo, la tarjeta A/D es de 16 bits y el rango de entrada analógica es de  $[0V, 5V]$ , utilizando la muestra del imán permanente. Esto supone que como

mucho podemos distinguir variaciones de  $\frac{5}{2^{16}} = 76,29 \mu V$ . Es decir, tendremos una resolución de  $76.29 \mu V$ .

Si aplicamos un factor de ganancia  $G$ , la resolución de la tarjeta A/D es de  $\frac{(H-L)}{(G \cdot 2^n)}$

En la figura 27, el cuadro muestra la relación entre rango de entrada, ganancia, rango actual de entrada y precisión para una señal unipolar y bipolar con un rango de 10V:

Rango de entrada	Ganancia	Rango actual de entrada	Precisión (ADC 16 bits)
0 a 10 V	1.0	0 a 10 V	0.152 mV
	2.0	0 a 5 V	0.076 mV
	5.0	0 a 2 V	0.030 mV
	10.0	0 a 1 V	0.015 mV
-5 a 5 V	0.5	-10 a 10 V	0.305 mV
	1.0	-5 a 5 V	0.152 mV
	2.0	-2.5 a 2.5 V	0.076 mV
	5.0	-1.0 a 1.0 V	0.030 mV
	10.0	-0.5 a 0.5 V	0.015 mV

*Figura 27:* Relación entre rango de entrada, ganancia, rango actual de entrada y resolución.

Cabe decir que el amplificador que hemos utilizado solamente es capaz de dar un voltaje de salida máximo de 2V pico-pico. Por esta razón, no podemos amplificar el valor de la entrada de forma incontrolada para tener una mayor resolución.

Por ejemplo, si utilizamos el rango de entrada de la tarjeta A/D de  $[-2.5V, 2.5V]$  y tenemos un valor máximo para medir de 280mV, podríamos tomar como valor

adecuado del preamplificador  $G = \frac{2.5}{0.28} = 8.92$  para alcanzar la máxima resolución.

Esta elección nos llevaría a que la salida teórica del preamplificador sea de 2.49V. valor que como hemos comentado resulta inalcanzable.

Como el voltaje de salida máximo del preamplificador es de 2 V y  $G = \frac{2V}{0.28} = 7.14$  no podemos aplicar un factor de ganancia superior a 7.

En consecuencia tendremos una resolución:  $\frac{5}{(7 \cdot 2^{16})} = 10.89 \mu V$

Por tanto, deberíamos tener en cuenta este dato a la hora de realizar nuestro algoritmo de determinación del factor de ganancia del preamplificador.

## 6.2 Filtro del amplificador

En la señal portadora de la información existe ruido proveniente de diversas fuentes, entre las que se encuentran los propios dispositivos de toma de datos, los elementos suministradores de energía con corriente alterna y también interferencias electromagnéticas captadas por los hilos conductores que forman el sistema de medida. Puede verse el conjunto de estos efectos como una señal de ruido que se superpone a la señal útil. Además si se considera que cualquier señal está compuesta por otras de tipo senoidal a diversas frecuencias, que llamamos componentes, parece intuitivo que la superposición de una señal útil con otra de ruido represente una mezcla de las componentes de ambas.

El procedimiento que permite soslayar, en parte, los efectos de la señal contaminante consiste en eliminar de ésta señal contaminante, todas las componentes frecuenciales que se encuentran fuera de la banda frecuencial de la señal útil. Por supuesto, lo que sería deseable es poder eliminar todas las componentes de la señal de ruido. Sin embargo no es cosa fácil, y en la mayoría de los casos resulta una tarea imposible. La

razón es que cualquier intento de suprimir las componentes ruidosas que se encuentran en la misma banda de frecuencias que las de la señal útil tiene por resultado suprimir también las de ésta última. Por lo tanto la banda de frecuencias común a las dos señales debe respetarse a fin de no alterar la señal útil. No obstante los componentes frecuenciales de la señal de ruido que se encuentran en la misma banda que las de la señal útil contribuirán a enmascarar a ésta aunque en menor medida.

Por esta razón es conveniente efectuar un filtrado de la señal antes de realizar cualquier procesamiento de los datos adquiridos a partir de la misma.

A parte de amplificar la señal, el amplificador que hemos incorporado al sistema de medidas posee una serie de filtros que permiten realizar un filtrado de la señal.

Respecto a la parte del espectro que dejan pasar y que atenúan, hay tres tipos de filtros: filtros paso alto, filtros paso bajo y filtros paso banda. Para nuestro sistema de adquisición de datos es conveniente utilizar un filtro paso bajo para atenuar las frecuencias que no nos interesan, como por ejemplo los 50Hz correspondientes a la red. Debemos tener en cuenta que la frecuencia de corte debe ser igual o mayor a la máxima frecuencia de la señal de interés, y conviene sea lo más ajustada posible a esta frecuencia por las razones expuestas anteriormente referente al ruido.

El filtro del amplificador también debe estar en concordancia con la frecuencia de muestreo de la tarjeta A/D. Ya que si queremos cumplir el criterio de Nyquist [5], la señal que llegue a la tarjeta A/D no debe contener componentes frecuenciales mayores

de  $\frac{f_0}{2}$ , donde  $f_0$  es la frecuencia de muestreo de la tarjeta A/D. La utilización de un

filtro adecuado del preamplificador nos puede asegurar esta condición y así evitar el aliasing [4], y por otro lado contribuir a eliminar componentes frecuenciales no deseadas.

## 6.3 Efectos secundarios del amplificador

### **Cambio en el valor del offset del sistema:**

El amplificador, como cualquier sistema electrónico de medida, que permita medir componentes tan bajas en frecuencia como un nivel de señal continua, introducirá un offset. Por lo tanto un offset no es más que un nivel de tensión o de corriente continua, ya sea más grande o más pequeño. En otras ocasiones, este offset normalmente es debido a las imperfecciones de los componentes de los sistemas. Sirva de ejemplo el factor  $\beta$  de los transistores BJT, parámetro que puede diferir para transistores teóricamente idénticos. Esta variación de valor puede provocar variaciones en el sistema y offsets.[2]

El amplificador que hemos utilizado en nuestro sistema de medida puede tomar diferentes valores de ganancia dependiendo del valor de tensión a medir. Esto provocará que tengamos un offset del sistema variable, dado que se amplifica también el nivel de continua de la señal de entrada. De modo que, o bien se elimina este nivel de continua de la señal de entrada o bien se adapta el sistema cada vez que se modifica el factor de ganancia. Si no tenemos en cuenta su existencia, puede darse el caso de que el valor máximo / mínimo del offset del preamplificador se salga del rango de la tarjeta A/D

### **Añade un retardo:**

Las componentes frecuenciales de la señal de salida de un filtro se encuentran retrasadas respecto a las de entrada en unas cantidades que están directamente relacionadas con el espectro de fase de este filtro. Es una propiedad inherente a los sistemas físicos. Este hecho debería tenerse en cuenta si se pretendiese comparar la señal de salida con la de entrada, por ejemplo mediante una simple sustracción. Si se desconoce este retardo no



es posible alinear adecuadamente una señal con otra para operar, de modo que el resultado de la operación sería erróneo. Añadido a esto, cabe decir, que, en general el retardo introducido por un filtro, además de aumentar con la selectividad del mismo, no es el mismo para todas las frecuencias, circunstancia que hace aún más difícil cualquier comparación.

Con el filtro amplificador, objeto de estudio, sucede lo que se expone en el párrafo anterior. Por lo tanto se asume que esta etapa de proceso únicamente tiene como pretensión mejorar, si fuera necesario, la relación señal – ruido.

Posteriormente se realizará un filtrado por software con otro tipo de filtro, con unas propiedades que permiten soslayar las dificultades expuestas anteriormente.

### **Introducir ruido:**

El amplificador, por efectos térmicos, genera un ruido interno que añade algunos microvoltios a la señal. El ruido añadido depende del ancho de banda del amplificador. A mayor ancho de banda, mayor ruido interno. Por ello, debemos utilizar el amplificador que más se ajuste al ancho de banda de la señal de entrada.

# Capítulo 7

## Implementación de un módulo de filtraje digital

En el capítulo anterior hemos visto los filtros que nos permite aplicar el preamplificador, no obstante, también podemos aplicar los filtros digitales que nos proporciona el entorno MATLAB.

Un filtro digital es un vector de coeficientes. La señal de salida es la convolución de la señal de entrada con la respuesta impulsional del filtro [4]. En frecuencia, el producto de los espectros de la entrada y el filtro nos dan el espectro de la salida.

En los filtros digitales, de acuerdo con el tipo de respuesta ante entrada unitaria, hay dos tipos importantes: IIR y FIR

- Filtro FIR (Finite Impulse Response)

Es un filtro digital no recursivo donde la señal de salida es una combinación lineal de los valores presentes y pasados de la señal de entrada. Además si la entrada es una señal impulso, la salida tendrá un número finito de términos no nulos. Por esto se dice que tiene memoria finita.

Estos filtros tienen todos los polos [4] en el origen, por lo que siempre son estables.

- Filtro IIR (Infinite Impulse Response)

Es un filtro digital recursivo donde la señal de salida es una combinación lineal de los valores presentes y pasados de la señal de entrada, así como de los valores pasados de la señal de salida. Cuando a su entrada se introduce un impulso, responde con una señal de duración infinita.[7]

En nuestro estudio, nos interesa más el primer tipo de filtros digitales porque son filtros muy fáciles de implementar, siempre son estables y el retardo que introducen en la señal que filtran puede ser conocido.

A nivel de programación, para diseñar el filtro FIR, hemos utilizado la función que nos proporciona Matlab `FIR1`. Esta función diseña un filtro FIR paso bajo de orden  $N$ , longitud  $(N+1)$ , y frecuencia de corte  $W_n$  (normalizada con respecto a la frecuencia de Nyquists,  $0 \leq W_n \leq 1$ ).

Por ejemplo: `B=fir1(N,Wn,type>window);`

#### Ejemplo 5:

Muestra: Imán permanente de diámetro 10 mm.

Velocidad del motor: 5 Vueltas/segundo

Resolución del motor: 4000 Pasos/vuelta

Mapa de dimensión 20x20 mm

Frecuencia de muestreo: 1 KHz

Rango de la tarjeta A/D: [-2.5 V 2.5 V]

En la figura 28 (a), podemos observar la gráfica de la señal, con ancho de banda 500Hz y claramente ruidosa, formada por las líneas de barrido que representan el mapa, antes de ser procesadas mediante un filtrado digital paso bajo de orden 200 y de frecuencia de corte 5 Hz.

La figura 28 (b) muestra la misma señal después de aplicar el filtro digital en la que se aprecia unas líneas más libres de contaminación de ruido.

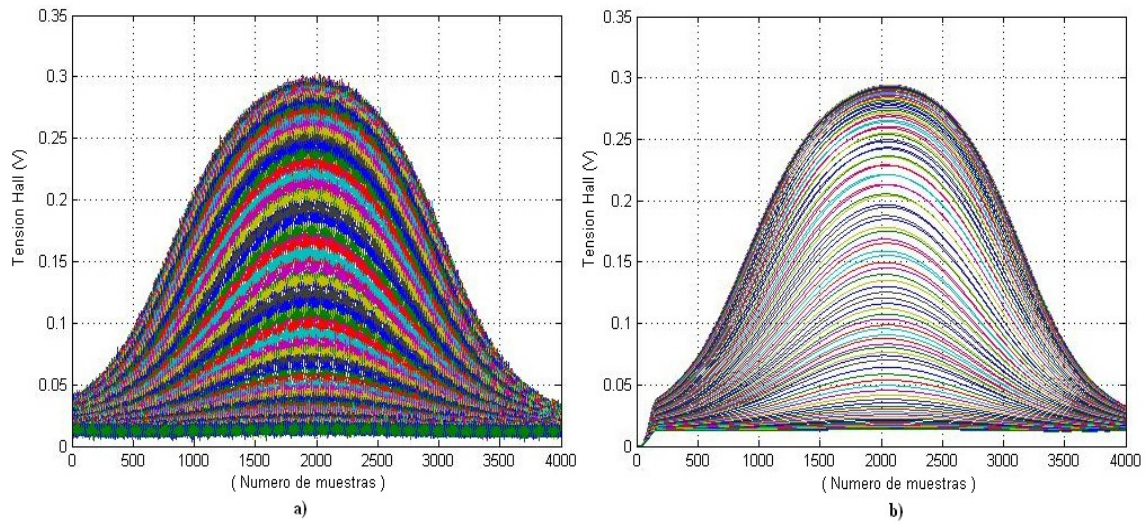


Figura 28: El mapa  $VH(x,y)$ , a) sin filtrado digital, b) con filtrado digital (ejemplo 5)

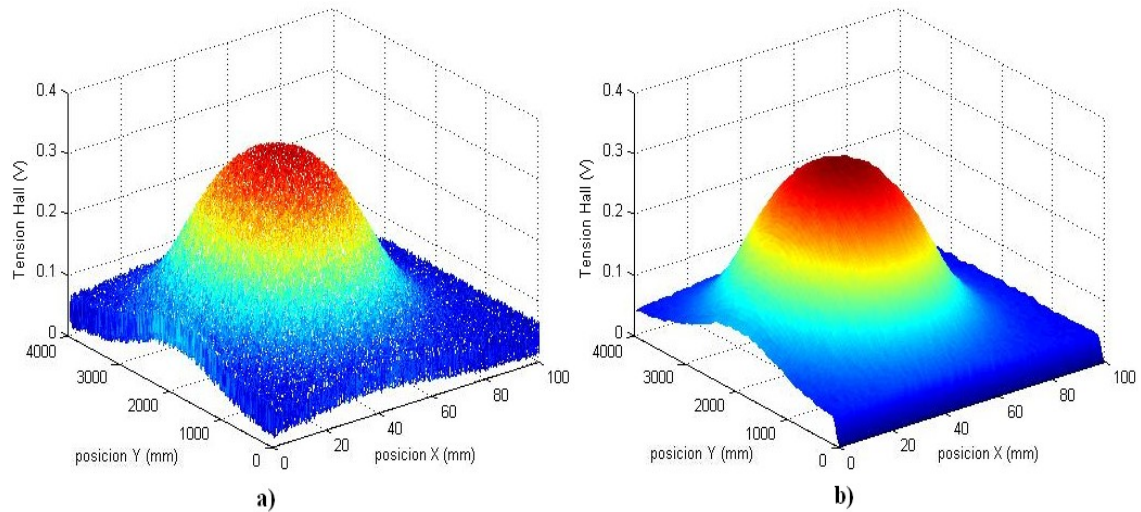
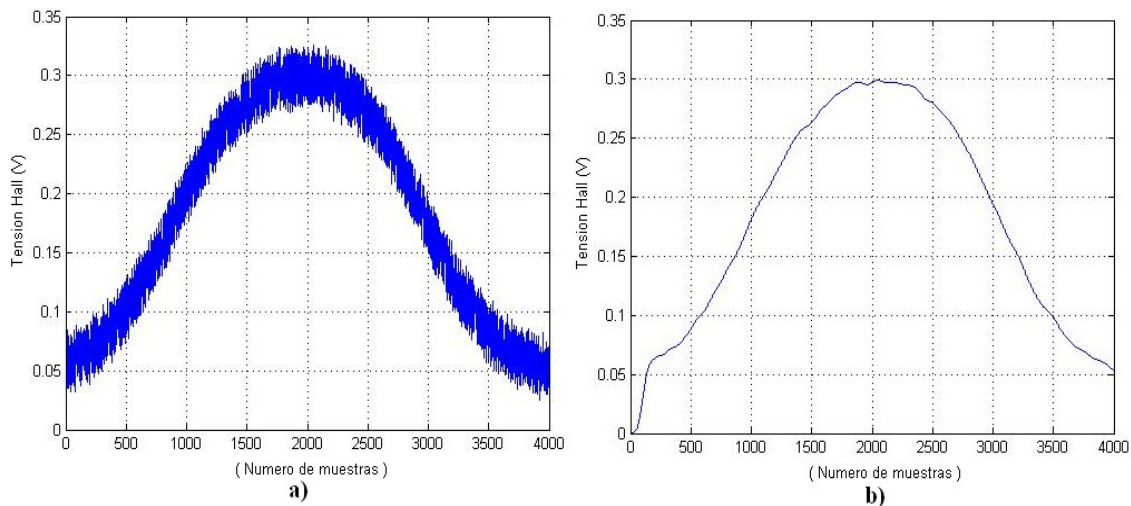


Figura 29: a) Mapa sin filtrar. b) Mapa filtrado paso bajo de orden 200 y de ancho de banda 5 Hz

La figura 29 (a) muestra la representación tridimensional de la misma señal del ejemplo 5, a la que se ha añadido ruido aleatorio de distribución uniforme y amplitud 0.05 voltios y, en la figura 29 (b) se muestra esta señal filtrada paso bajo con un filtro FIR de orden 200 y ancho de banda 5 Hz.

Seguidamente, con objeto de disponer de referencias respecto al orden y ancho de banda del filtro FIR paso bajo, se realizan varios filtrados con diferentes valores de estos parámetros.

En todas las realizaciones se ha añadido a la señal, que tiene un ancho de banda de 500 Hz, ruido aleatorio de distribución uniforme y amplitud 0.05 voltios.



*Figura 30: Antes a) y después b) de aplicar un filtro FIR de orden 200 y de ancho de banda 5 Hz*

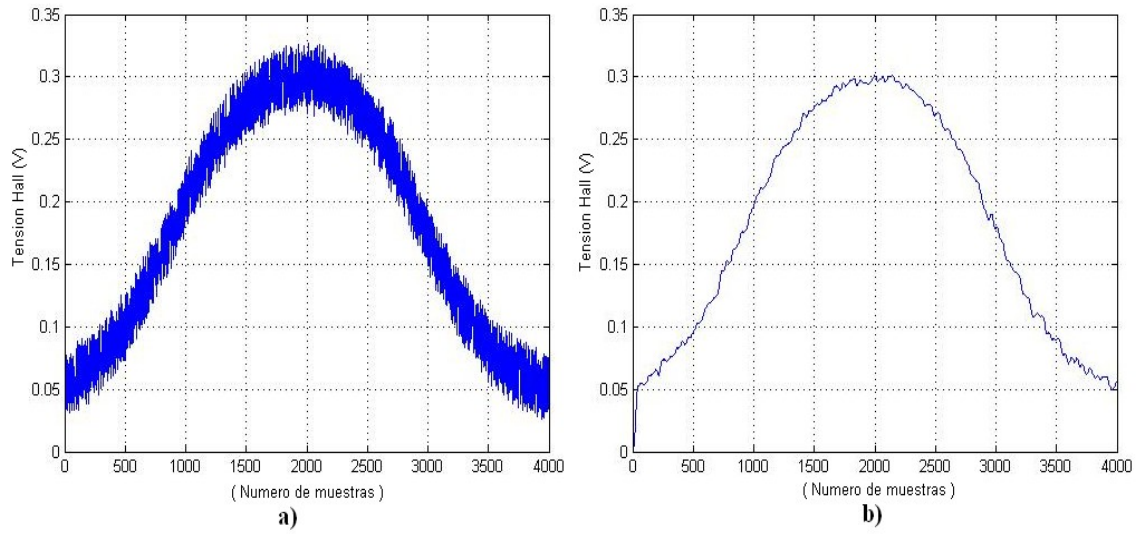


Figura 31: Antes a) y después b) de aplicar un filtro de orden 50 y de ancho de banda 5 Hz.

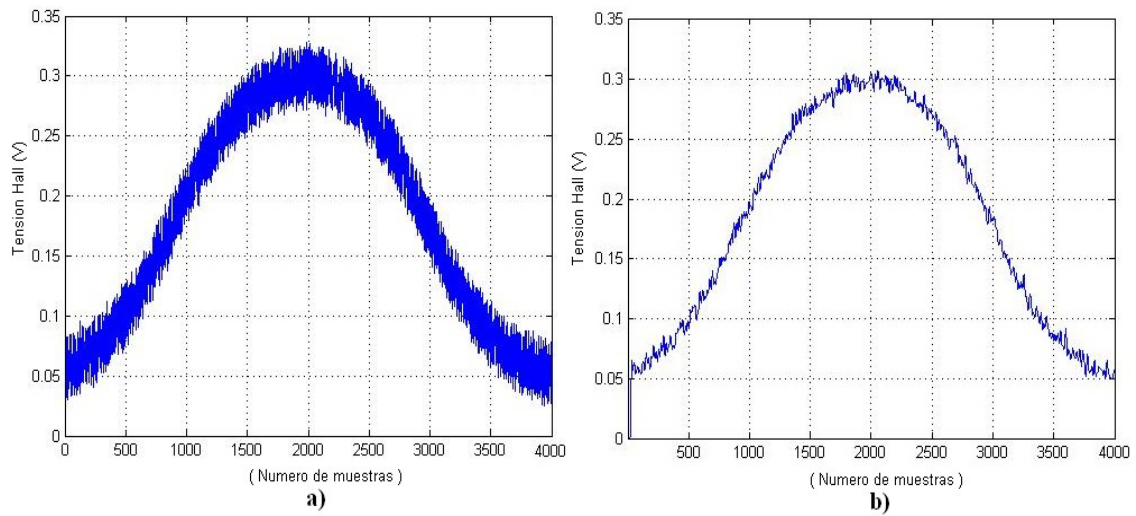
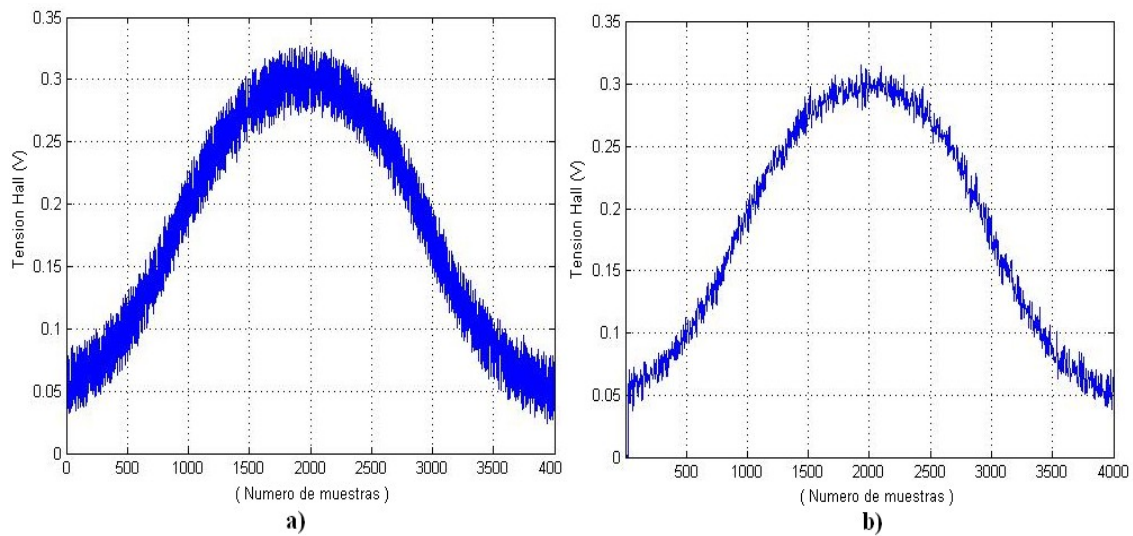


Figura 32: Antes a) y después b) de aplicar un filtro de orden 50 y de ancho de banda 50 Hz.



*Figura 33: Antes a) y después b) de aplicar un filtro de orden 50 y de ancho de banda 100 Hz.*

Es observable que cuanto más grande es el orden del filtro el resultado es más óptimo. Mientras que con el mismo orden del filtro, cuanto más pequeño es el ancho de banda más ruido se elimina.

Estas gráficas también pueden servir como ilustración del apartado 6.2, en el que se comenta que la eliminación de componentes frecuenciales de la señal de ruido tiene como resultado reducir la amplitud de esta señal de ruido.

Por otra parte, las figuras siguientes están orientadas a mostrar el efecto del desplazamiento entre la señal de entrada y la señal de salida que se produce al filtrar. Este hecho, que ya se ha comentado en el apartado 6.3, es una característica general del procesamiento de señales por un sistema físico.

La ventaja del filtrado tipo FIR radica en que este desplazamiento o retardo es fácilmente cuantificable y se produce a todas las frecuencias. Es demostrable que esto se traduce, en el tiempo, a un desplazamiento constante, e igual a la mitad del orden del filtro, en cada una de las muestras de la señal de salida.

La figura 34 muestra una línea del mapa del ejemplo 5 procesada mediante un filtro FIR de orden 200. Esto introduce un retardo de 100 muestras en la señal de salida con respecto a la señal de entrada. Así siempre puede compararse una muestra procesada (de salida) con su correspondiente muestra sin filtrar (entrada) teniendo en cuenta este retardo.

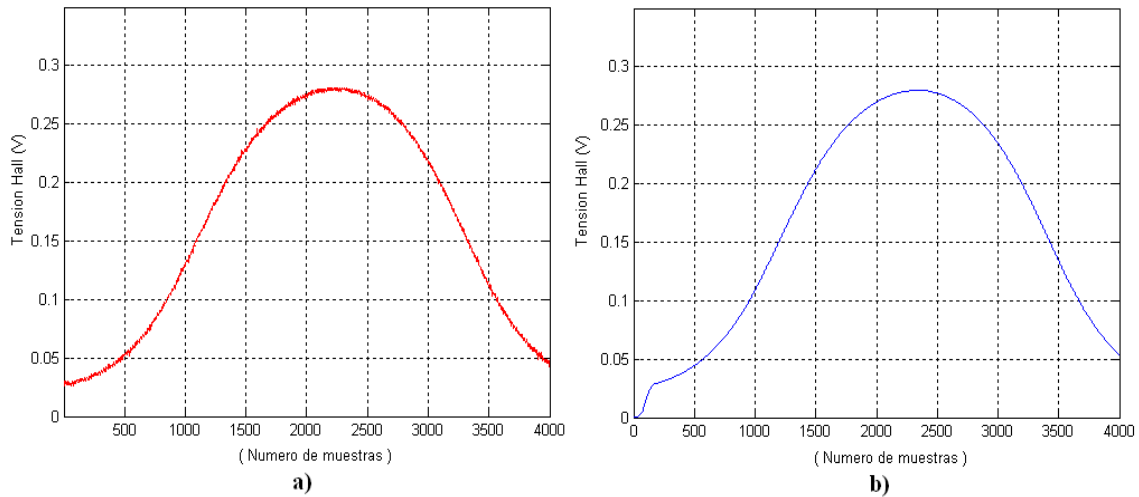


Figura 34: Línea 50 del ejemplo 5, a) sin filtrar b) filtrada.

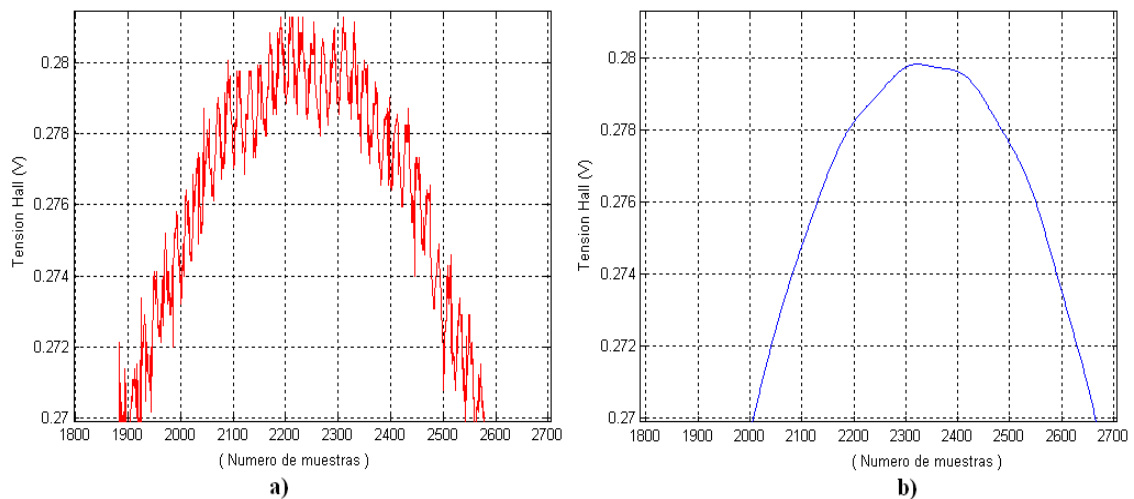


Figura 35: Ampliación de la línea 50 del ejemplo 5, a) sin filtrar b) filtrada.



En la figura 34 puede verse que la muestra 100 es la primera muestra válida de la señal de salida y corresponde a la primera muestra de la señal de entrada.

En la figura 35 se quiere poner de manifiesto este mismo hecho mostrando el desplazamiento que existe entre la señal de entrada y la señal de salida, viendo a esta última como la primera trasladada 100 muestras hacia la derecha, es decir retardada en el tiempo 0.1 s.

# Capítulo 8

## Conclusiones y trabajos futuros

Al finalizar este trabajo, hemos podido cumplir con los objetivos propuestos:

- a) Implementación del programa de gestión de la tarjeta A/D para la adquisición de tensiones Hall, verificar la sincronización entre el desplazamiento de la sonda Hall y la recogida de datos.
- b) Implementación de herramientas que aumentan la usabilidad del sistema experimental;
  - Interfaz gráfica que facilite la interacción programa – usuario.
  - Módulo de representación gráfica de resultados.
- c) Estudio de las posibilidades que ofrece el uso de un amplificador de señal para la optimización del rendimiento de la tarjeta A/D.
- d) Implementación de un módulo de filtraje digital cuya aplicación hemos ilustrado mediante algunos ejemplos.

Respecto a los trabajos futuros, se propone un estudio más exhaustivo orientado a determinar un orden y un ancho de banda adecuado para el filtrado FIR y adaptado a la señal objeto de las medidas.

En la misma línea de trabajo, explorar las posibilidades del filtrado IIR a la señal objeto

de las medidas.

Desde el punto de vista del programa de control del sistema experimental sería conveniente implementar un bloque que incorporará el control remoto del preamplificador.

# Capítulo 9

## Anexos

Contenido del CD aquí incluido:

- Primera parte: Carpeta que incluye los ficheros de código de la parte mecánica que se elaboraron en la primera parte de este proyecto:
  - mapa.m
  - horitz.prg
  - vertic.prg
- Código: Carpeta que incluye los dos ficheros de código del programa:
  - projecte\_actual.m
  - filtro\_digital.m

# Capítulo 10

## Bibliografía

- [1] Montserrat Morancho, Automatització i posta a punt d'un sistema de micromagnetometría amb sonda Hall, EUP, UdL, TFC, 1996
- [2] Roberto Beán Castelló, Optimización de un sistema de Micromagnetometría con Sonda Hall Utilizando una Tarjeta de Adquisición de Datos Analógico Digital y Preamplificador, Escola Universitaria Politecnica, Universitat de Lleida, TFC, 1998.
- [3] Gemma Fort Cabrero , Control de un sistema de medidas experimentales de campo magnético con sensores Hall, Escola Politècnica Superior, Universitat de Lleida, TFC, 2005.
- [4] F. Clariá Sancho, Tratamiento de la señal, Apuntes de clase, Paperkite Editorial, 1ª edición, L-730-2005.
- [5] John G. Proakis, Dimitris G. Manolakis, Tratamiento de señales digitales. PRENTICE HALL, 1997.
- [6] MATLAB, Uso de la toolbox daq.

[7] [http://www.desi.iteso.mx/sys/dsp/filtros\\_digitales.ppt#26](http://www.desi.iteso.mx/sys/dsp/filtros_digitales.ppt#26)